

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Univerzitní studijní programy

**Návrh a realizace osvětlovací soustavy demonstračního vozidla  
s elektrickým pohonem**

Design and Practical Realization of Lighting System for Demonstration  
Electric Vehicle

Student:

Bc. Ondřej Jahn

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Petr Šimoník, Ph.D.

Ostrava 2014

## Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. Ondřej Jahn**

Studijní program:

N3943 Mechatronika

Studijní obor:

3906T007 Automobilová elektronika

Téma:

Návrh a realizace osvětlovací soustavy demonstračního vozidla s  
elektrickým pohonem  
Design and Practical Realization of Lighting System for Demonstration  
Electric Vehicle

Zásady pro vypracování:

1. Na základě specifikace vedoucího diplomové práce a s ohledem na konkrétní případ šasi vozidla proveďte teoretický návrh celkové koncepce osvětlovací soustavy pro dané vozidlo s elektrickým pohonem.
2. Dle stanovených parametrů prakticky realizujte strukturu osvětlovací soustavy včetně řídicí a výkonové části měniče pro řízení světelné intenzity světlometů a osvětlovacích prvků.
3. Na realizované struktuře osvětlovací soustavy proveďte vývoj softwarové řídicí aplikace.
4. Proveďte praktické ověření navržené a realizované osvětlovací soustavy při reálných jízdních podmínkách.

Seznam doporučené odborné literatury:

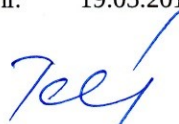
- VLK, F.: Elektronické systémy motorových vozidel 1, 2. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, Brno 2002, ISBN 80-238-7282-6
- VLK, F.: Elektrická zařízení motorových vozidel. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, Brno 2005, ISBN 80-239-3718-9
- ŠTĚRBA, P.: Elektrotechnika a elektronika automobilů. Computer press, Praha, 2004
- ERJAVEC, J.: Automotive Technology: A Systems Approach, 4th Edition, USA 2004, Thomson Learning, 1401 str., ISBN 1-4018-4831-1
- RIBBENS, B., W.: Understanding Automotive Electronics, Sixth Edition, USA 2003, Elsevier Science, 480 str., ISBN 0-7506-7599-3
- BOSCH technické brožury, žluté sešity 1996-2013

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Šimoník, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



---

doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.  
vedoucí katedry



---

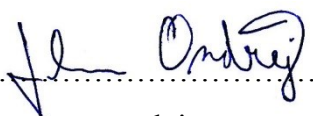
prof. Ing. Petr Noskievič, CSc.  
prorektor pro studium



### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

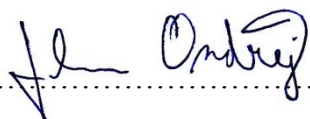
V Ostravě 15.5.2014

.....  
  
podpis

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB–TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB–TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB–TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB–TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB–TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB–TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 15.5.2014

  
.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Ondřej Jahn

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Svéšedlice 61

783 54 p. Přáslavice

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat za odborné konzultace Ing. Petru Šimoníkovi, Ph.D. a Ing. Jiřímu Takáčovi za cenné rady při tvorbě této diplomové práce. Také chci poděkovat celému týmu, který semnou spolupracuje na projektu Democar.

## **Anotace diplomové práce**

JAHN, O.: *Návrh a realizace osvětlovací soustavy demonstračního vozidla s elektrickým pohonem*. Ostrava, 2014. 49 s. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Petr Šimoník, Ph.D.

Cílem této práce je návrh a realizace osvětlovací soustavy demonstračního vozidla Democar s elektrickým pohonem. V první části je proveden návrh celkové struktury osvětlovací soustavy s definováním jednotlivých světelných zdrojů a jejich požadované funkce. V této části je navržena kompletní řídicí jednotka, které předchází návrh prototypu pro vývoj a testování softwarových řídicích aplikací osvětlení. Jsou zde rozebrány použité obvody, jejich význam a konkrétní uplatnění. V další kapitole je popsán vývojový kit, realizace prototypu a komplexní jednotky LCU. V rámci praktické části je mimo jiné řešen vývoj softwarové aplikace schopné řízení a kontroly jednotlivých komponentů osvětlovací soustavy. Tato část poskytuje stručný popis operačního systému, který usnadňuje práci s mikrokontrolérem PPC5643L. Diplomová práce se dále věnuje testování a analýze vyvíjeného řídicího systému. Poslední částí je finální implementace osvětlovací soustavy do struktury vozidla Democar. Podstatným výsledkem této práce je prakticky realizovaná řídicí jednotka, schopná řídit a diagnostikovat osvětlovací systém.

## **Klíčová slova**

elektromobil, osvětlovací soustava, řídicí systém, MCU, SPI, diagnostika, řídicí jednotka, CAN

## **Diploma Thesis Annotation**

JAHN, O.: Design and Practical Realization of Lighting System for Demonstration Electric Vehicle. Ostrava, 2014. 49 pages. Diploma Thesis. VŠB – Technical University of Ostrava. Thesis head Ing. Petr Šimoník, Ph.D.

The aim of this work is the design and practical realization of lighting system for demonstration electric vehicle Democar. In the first part of the overall design of a structure defining a lighting system with individual light sources and their required functions. This section is designed to complete the control unit, which precedes prototyping for the development and testing of software lighting control applications. There are analyzed used ICs, their meaning and practical application. The next chapter describes the development kit, realization of the prototype a complex unit LCU. In the practical part, among others, addressed the development of a software application capable of managing and checking the components of lighting system. This section provides a brief description of the operating system that simplifies working with microcontroller PPC5643L. Diploma thesis is also dedicated to testing and analysis of the developed control system. The last part is the final implementation of lighting system to the vehicle structure Democar. An important result of this work is practically implemented the control unit, able to manage and diagnose lighting system.

### **Key words**

electric vehicle, lighting system, control system, MCU, SPI, diagnostics, control unit, CAN



## Seznam použitých zkratk a symbolů

BCU	Break Control Unit (řídící jednotka brzd)
CAN	Controller Area Network (sériový komunikační protokol)
CAN–H	označení vodiče „High“ sběrnice CAN
CAN–L	označení vodiče „Low“ sběrnice CAN
CCU	Central Control Unit (centrální řídící jednotka)
CSB	Chip Select SPI
DCU	Drive Control Unit (řídící jednotka pohonu)
DPS	deska plošného spoje
ECU	Electronic Control Unit (elektronická řídící jednotka)
EMC	Electromagnetic Compatibility (elektromagnetická kompatibilita)
H4	halogenová žárovka typu H4
HS1	halogenová žárovka typu HS1
I/O	Input / Output (periférie vstup / výstup)
ID	identifikátor
IDE	Integrated Development Environment (integrované vývojové prostředí)
JTAG	Joint Test Action Group (programovací konektor/protokol)
KPS	kontrolní provozní světlo
LCU	Light Control Unit (řídící jednotka osvětlení)
LED	Light–Emitting Diode (dioda vyzařující světlo)
LIN	Local Interconnect Network (lokální propojovací síť)
MCU	mikrokontrolér
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (polem řízený tranzistor)
MQX	operační systém RTOS firmy Freescale
PC	Personal Computer (osobní počítač)
PWM	Pulse Width Modulation (pulsně šířková modulace)
RS232	standard sériové linky
RS485	standard sériové komunikace
RSTB	Reset SPI
RTOS	Real–time Operating System (operační systém reálného času)
ŘJ	řídící jednotka
SCLK	Serial Clock (hodinový signál pro SPI)

SCU	Steer Control Unit (řídící jednotka řízení)	
SI	Slave In (vstupní data SPI)	
SKC	světlo kontroly chyb	
SMD	Surface Mount Device (součástky pro povrchovou montáž)	
SO	Slave Out (výstupní data SPI)	
SOIC	Small Outline Integrated Circuit (integrovaný obvod malého rozměru)	
SPI	Serial Peripheral Interface (sériové periferní rozhraní)	
TTL	Transistor – Transistor Logic (tranzistorově-tranzistorová logika)	
UART	Universal Asynchronous Receiver and Transmitter (asynchronní sériové rozhraní)	
USB	Universal Serial Bus (univerzální sériová sběrnice)	
VBA	Vehicle Bus Analyzer (analyzátor sběrnice vozidla)	
WD	Watchdog (kontrolní bit)	
$I$	proud	[A]
$I_{OUT}$	výstupní proud	[A]
$I_V$	vlastní proudový odběr obvodu	[A]
$P$	příkon	[W]
$R_{DS(ON)}$	odpor v sepnutém stavu	[ $\Omega$ ]
$R_{jB}$	vnitřní tepelný odpor – čip/DPS	[°C/W]
$U$	napětí	[V]
$\alpha_A$	aktuální úhel natočení kol přední nápravy	[°]
$\alpha_K$	kontrolovaný úhel natočení kol přední nápravy	[°]
$\vartheta_a$	teplota okolí	[°C]
$\vartheta_j$	teplota přechodu	[°C]

**Obsah**

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>Teoretický návrh .....</b>	<b>13</b>
2.1	Návrh komplexní struktury systému osvětlení .....	13
2.2	Návrh osvětlovací soustavy .....	15
2.2.1	Princip činnosti.....	15
2.2.2	Volba světelných zdrojů .....	16
2.2.3	Výstupní okruhy osvětlovací soustavy .....	18
2.2.4	Definování požadavků pro návrh výkonové části jednotky LCU .....	19
2.2.5	Popis obvodu MC17XS6500 .....	20
2.3	Návrh prototypu jednotky LCU .....	22
2.4	Návrh komplexní struktury jednotky LCU .....	23
<b>3</b>	<b>Praktická realizace.....</b>	<b>26</b>
3.1	Popis modulu vývojové řídicí desky.....	26
3.2	Praktická realizace prototypu jednotky LCU.....	27
3.3	Praktická realizace komplexní jednotky LCU .....	28
<b>4</b>	<b>Vývoj aplikačního softwaru .....</b>	<b>32</b>
4.1	Popis RTOS MQX 3.8 .....	32
4.2	Struktura vyvíjené aplikace .....	33
<b>5</b>	<b>Analýza a testování aplikačního softwaru .....</b>	<b>40</b>
5.1	Vývojové a testovací pracoviště .....	40
5.2	Analýza SPI komunikace .....	40
5.3	Testování CAN komunikace.....	42
<b>6</b>	<b>Aplikace osvětlovací soustavy do struktury vozidla .....</b>	<b>44</b>
<b>7</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>47</b>
<b>8</b>	<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>48</b>
<b>9</b>	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>49</b>

## 1 Úvod

Se stále zvyšujícími nároky na kvalitu, bezpečnost a self – diagnostiku v automobilovém průmyslu jsou i elektronické systémy osvětlení stále vyvíjeny a zdokonalovány. Osvětlovací soustava není nezbytně nutná pro správnou funkci motorového vozidla, je důležitá pro bezpečnost a provoz na pozemních komunikacích. Primárním úkolem osvětlovací soustavy je, aby vozidlo bylo vidět ostatními účastníky provozu a napomáhalo řidiči za snížené viditelnosti. Mimo jiné je nutné, aby tato soustava byla nejen spolehlivá, ale také schopna vlastní kontroly.

U starších motorových vozidel je osvětlení ovládáno pouze připojením ke zdroji prostřednictvím vypínače nebo relé. Tento systém má hned několik nevýhod a úskalí. Z důvodu většího počtu mechanických částí je zvýšené riziko poruchy této soustavy a v případě, že dojde k přerušení vlákna světelného zdroje nebo vedení, nedokáže systém detekovat závadu. Nastává tedy situace, že řidič není informován o neúplné funkčnosti osvětlovací soustavy, což může být v krajní situaci nebezpečné. Především z tohoto důvodu se výrobci snaží vyvinout elektrické řídicí systém pro ovládání osvětlovací soustavy. Takové systémy jsou již u současných nejmodernějších vozidel standardem.

Moderní elektronický řídicí systém osvětlení disponuje funkcemi, které řeší problematiku spínání světelného zdroje, self – diagnostiky a ochrany proti přetížení. Ke spínání dochází například pomocí výkonových spínacích stupňů, které jsou schopny detekovat přepětí, nadproud, přerušení a podobně. Díky této vlastnosti je umožněno řídicímu systému detekovat problém, informovat uživatele a přizpůsobit řízení ovládání světelné soustavy. Řídicí systém umožňuje spínání světelného zdroje pomocí PWM (pulzně šířková modulace) a tak regulovat intenzitu jasu. Výhodné například pro denní svícení, nebo brzdová světla.

Postupem času je kladen čím dále větší důraz na ekologii a ekonomii provozu. Jelikož obyčejné vláknové žárovky mají poměrně velký odběr a krátkou životnost, dostává se do popředí technologie LED. Tento polovodičový prvek má malý odběr a přesto je účinnost světelného zdroje srovnatelná. LED osvětlení má mnohem menší ztráty v podobě tepla, které produkuje. Doba svítivosti LED žárovek se pohybuje v řádech desítek tisíců hodin. V porovnání s klasickými vláknovými žárovkami je tedy životnosti LED žárovek až stonásobná. Osvětlení za pomoci technologie LED je výhodné pro aplikaci, která je řešena v této diplomové práci. Převážně vzhledem k tomu, že se jedná o demonstrační vozidlo s elektrickým pohonem (dále jen Democar), kde je jakákoliv úspora energie žádoucí.

## 2 Teoretický návrh

### 2.1 Návrh komplexní struktury systému osvětlení

Vozidlo Democar není vozidlo klasické koncepce. Zakoupené šasi vozidla je typově určené pro čtyřkolku s konstrukčními úpravami. Vozidlo nemá spalovací motor, ale elektrický pohon – čtyři elektromotory, pohánějící jednotlivá kola individuálně v závislosti na aktuální situaci. Toto vozidlo tedy disponuje náhonem 4 x 4 a je důležité, aby mezi sebou jednotlivé motory komunikovaly. Řízení elektromotorů obstarává ŘJ pohonu – DCU (Drive Control Unit).

Pro vozidlo je současně vyvíjen elektronický systém servořízení a brzd. Ovládání obou systémů je realizováno krokovým motorem a lineárním vedením. Motor pro ovládání kol je ovládán ŘJ servořízení – SCU (Steer Control Unit), která zajišťuje správné natočení kol dle požadavků uživatele. ŘJ brzd – BCU (Break Control Unit) zabezpečuje funkci brzdového mechanismu. Neméně důležitým systémem vyskytujícím se na vozidle Democar je osvětlovací soustava, jehož návrh a vývoj je uveden v této práci.

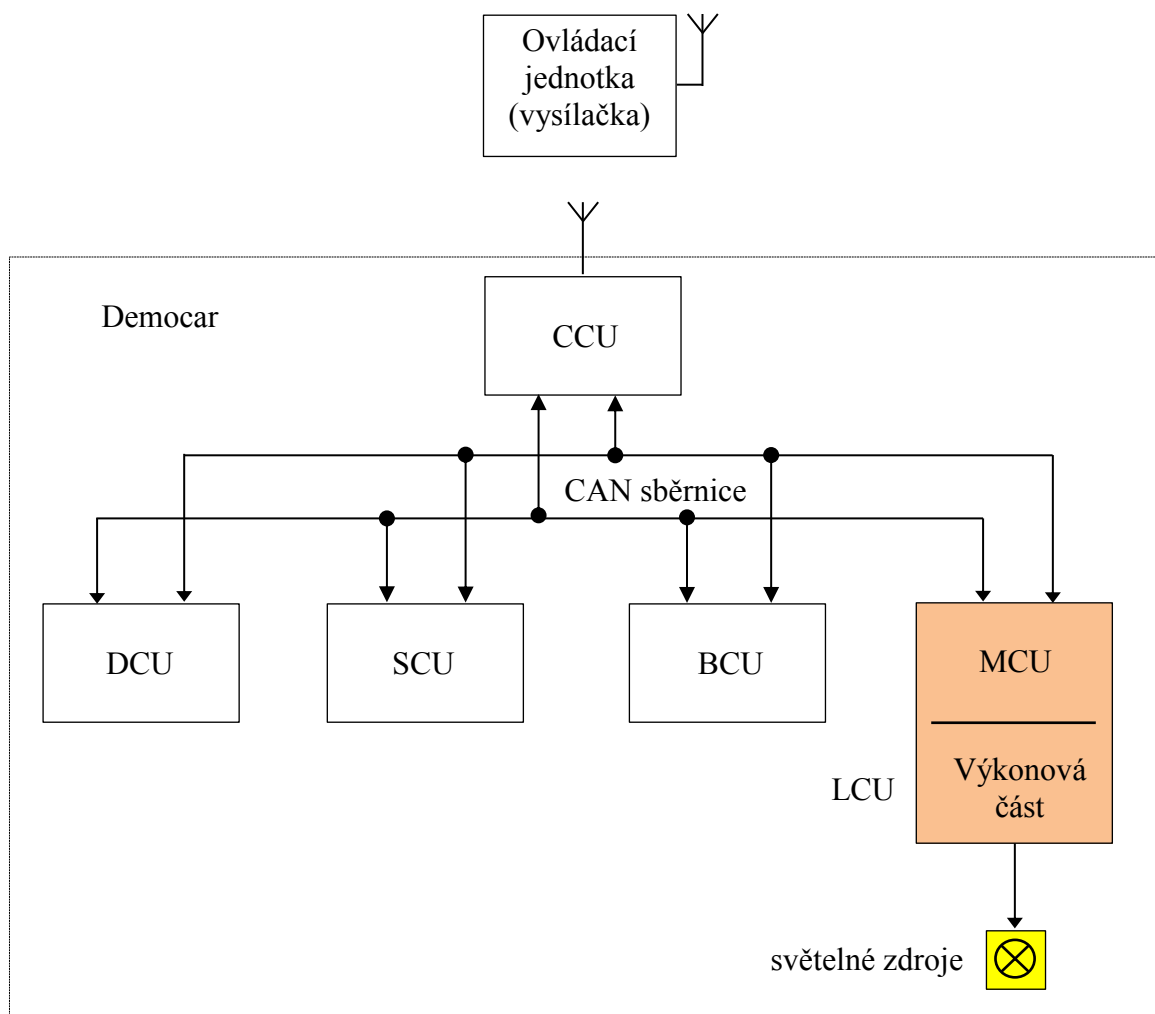
Vozidlo je řízeno za pomoci dálkového ovládání (vysílačky), přes kterou je uživatel schopen nejen ovládat vozidlo, ale také komunikovat s jednotlivými systémy a zjišťovat jejich stav. Aby bylo možné komunikovat s vozidlem za pomoci vysílačky, je vyvinuta centrální ŘJ – CCU (Central Control Unit). Tato jednotka zpracovává PWM signály z vysílačky, upravuje je do požadovaného tvaru a prostřednictvím CAN sběrnice je předává ostatním systémům vozidla.

Je nutné, aby každá řídicí jednotka získávala aktuální informace od ostatních systémů a přizpůsobovala požadované hodnoty aktuální situaci a podmínkám. To je umožněno prostřednictvím sběrnice CAN, která propojuje všechny systémy a řídicí jednotky ve vozidle Democar. Pro komunikaci byl vyvinut speciální komunikační protokol.

Sběrnice CAN pracující se sériovým přenosem dat, umožňuje řízení v reálném čase. Uzly mají k přenosovému médium přístup jako multi – master a jsou si tedy rovny. Výběr uzlů probíhá dle priorit, kterou mají přidruženou. Veškeré zprávy vysílané po sběrnici obdrží všechny uzly, a poté na základě identifikátoru definují, zda jim patří. Každému řídicímu systému jsou přiřazeny identifikátory, které jsou navrženy konkrétně pro strukturu vozidla Democar. Přenos dat je zprostředkováván po jednom vedení (sériově) maximální přenosovou rychlostí 1Mbit/s. Díky kroucené dvoulince a diferenčnímu tvaru signálu je zajištěn vysoký stupeň zabezpečení dat. V závislosti na délce vedení se musí vyskytovat na

koncích sběrnice terminační odpory (z pravidla 120  $\Omega$ ) pro eliminaci odrazů signálu na vedení.

Na obrázku 2.1 je zobrazeno propojení všech jednotek prostřednictvím CAN sběrnice a zvýrazněna ŘJ osvětlení - LCU (Light Control Unit). Do budoucna je plánováno připojení dalších uzlů ke sběrnici a rozšíření tak komplexní struktury vozidla Democar.



**Obr. 2.1** Blokové schéma komplexní struktury řídicích systémů vozidla Democar

Řídicí jednotky posílají aktuální informace na sběrnici a ostatní je dle potřeby zpracovávají. Od ŘJ osvětlení je potřeba vysílat na sběrnici tyto parametry:

- aktuální stav,
- hodnoty proudů jednotlivých výstupů,
- informace o odpojení zátěže,
- informace o nadproudu, podpětí, přepětí a teplotě,
- chybový stav.

Pro správnou funkci osvětlovací soustavy ŘJ osvětlení jsou vyžadovány z CAN sběrnice následující parametry:

- aktuální stav chyby všech jednotek,
- informaci o aktivaci jednotlivých světelných prvků od uživatele,
- úhel natočení kol od ŘJ řízení,
- informaci o brzdění a jeho intenzitě,
- chybový stav jednotlivých jednotek.

## **2.2 Návrh osvětlovací soustavy**

Nejprve je nutné definovat jednotlivé funkce osvětlovací soustavy a vybrat konkrétní světlené zdroje, které budou umístěny na vozidle Democar.

### **2.2.1 Princip činnosti**

Osvětlovací soustava disponuje celou řadou funkcí. Hlavní a základní funkcí je možnost ovládat jednotlivé světelné zdroje (obrysové, denní, tlumené, dálkové, směrové a couvací světlo) uživatelem z vysílačky.

Jestliže je pravé nebo levé směrové světlo aktivováno uživatelem, přídatná funkce automatické deaktivace je schopna v okamžiku, kdy vozidlo změní směr a následně srovná kola do roviny, vypnout směrová světla.

Brzdová světla se aktivují automaticky, jakmile jednotka LCU získá požadavek od jednotky CCU (zadáno brzdění dálkovým ovladačem vozidla) nebo informaci o brzdění od jednotky BCU (nouzové brzdění v momentě vzniku kritické závady).

Jednotka LCU měří a zprostředkovává informaci o protékajícím proudu jednotlivými světly. Uživatel si tyto hodnoty může vyčíst ze sběrnice CAN. Dále je jednotka schopna detekovat chybové stavy řídicích systémů vozidla Democar a aktivuje signalizaci červeným majákem - světlo kontroly chyb SKC a výstražnými světly (směrová světla). Světlo SKC je sepnuto i při výskytu chybového stavu jednotky LCU (odpojení zátěže, nadproud a přepětí v obvodu. U jednotky SCU je za chybový stav považován například nekorektní skutečný úhel natočení kol, porovnaný s požadovaným. Jeden z chybových stavů jednotky BCU je mechanická porucha brzdového systému. Pakliže nastane chyba v komunikaci, jedná se o chybový stav centrální řídicí jednotky CCU.

Podstatná výhoda této funkce tkví v tom, že při testování a vývoji vozidla je o vzniku závady, bez nutnosti připojení diagnostického přístroje, uživatel okamžitě vizuálně

informován. Díky možnosti zasáhnout a provést potřebná opatření, bezprostředně po vzniku závady, umožňuje tato funkce předejít případnému trvalému poškození nejen systémů, ale i celého vozidla.

Dalším jistícím prvkem jednotky LCU je modul kontroly stavu, který je schopen indikovat selhání systému nebo výpadek napájení. Pro případ, že dojde k přerušení napájecího napětí, je modul připojen k externímu zdroji, prostřednictvím kterého je aktivováno světlo SKC.

Přepnutím vypínače, umístěného na vozidle Democar, do polohy ON, je zapnuto napájení vozidla a přes modul kontroly stavu uvedeno v činnost světlo SKC. Svítí do doby, než dojde k inicializaci vozidla a načtení řídicích systémů. Po zavedení procesů řídicích jednotek je SKC deaktivováno, přepnuto do kontrolního režimu a je rozsvícen modrý maják - kontrolní provozní světlo KPS, které upozorňuje okolí na to, že vozidlo Democar je v činném a provozuschopném stavu. Světlo KPS svítí po celou dobu provozu vozidla vyjma situací, kdy dojde k chybovým stavům.

### 2.2.2 Volba světelných zdrojů

Vybrané světlomety, pro osvětlovací soustavu vozidla Democar, jsou sériově určeny pro konstrukce čtyřkolek. Přední světlomety (obr. 2.2) obstarávají tlumené, dálkové a denní svícení. Světlomety jsou umístěny v přední části vozu.



**Obr. 2.2** Přední hlavní světlomet

Žárovka HS1, obsažena v tomto světlometu, je nahrazena světelným zdrojem s technologií LED typu H4. Díky tomu je odběr na výstupu až pětikrát nižší a podařilo se tak docílit výrazné úspory energie. Viditelnost není snížena i přesto, že SMD čipy mají



nižší svítivost. Je to způsobeno konstrukcí žárovky a použitím výkonných SMD čipů. Chlazení těchto čipů je zajištěno odvodem tepla přes hliníkový chladič do okolí.

Směrová světla (obr. 2.3) jsou umístěna na přední a zadní části vozidla. Nejen, že informují o změně směru vozidla, ale také plní funkci výstražných světel při vzniku závady.



**Obr. 2.3** Přední a zadní směrový světlomet



**Obr. 2.4** Koncové obrysové/brzdové a středové brzdové světlo

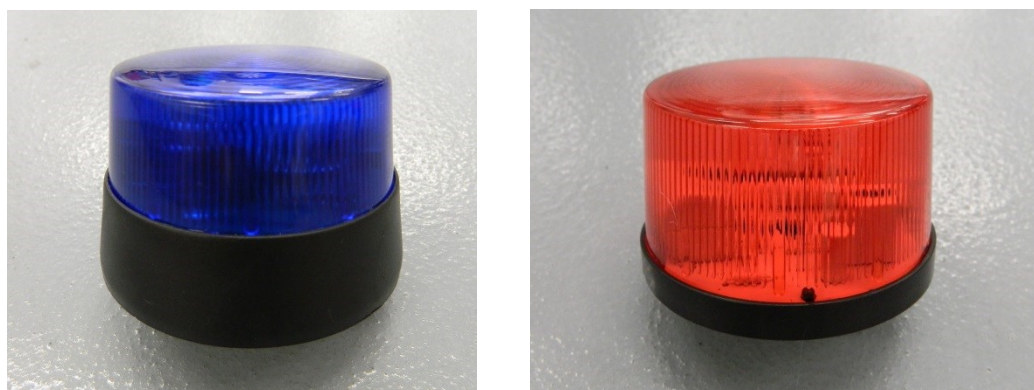
Zadní skupina světelných zdrojů (obr. 2.4) zajišťuje okruh obrysového a brzdového svícení. Světlomet vlevo plní funkci obrysových světel a změnou intenzity svítivosti indikuje, současně se středovým brzdovým světlem (vpravo – obr. 2.4), okamžik brždění.



**Obr. 2.5** Světlomety pro jízdu vzad

Světlo pro jízdu vzad zprostředkovává dvojice svítilen, které je možné vidět na obrázku 2.5. Tato světla jsou upevněna v zadní části karosérie.

Jako informační prvek pro uživatele, je použita dvojice majáků. Maják modré barvy – kontrolní provozní světlo KPS (obr. 2.6 vlevo) informuje uživatele a okolí o provozu vozidla Democar. KPS je upevněno ve středu vozidla na vyvýšeném místě.



**Obr. 2.6** Kontrolní provozní světlo KPS(vlevo) a světlo kontroly chyb SKC (vpravo)

Červený maják – světlo kontroly chyb SKC (obr. 2.6 vpravo) je umístěno ve středu vozidla a slouží pro hlášení nestandardních situací.

### 2.2.3 Výstupní okruhy osvětlovací soustavy

Dalším důležitým krokem je rozdělení a využití okruhů, které má osvětlovací soustava řídit. Návrh 10-ti okruhů je možné vidět v tabulce 2.1.

**Tab. 2.1** Výstupní okruhy osvětlovací soustavy

Okruh	Funkce	Značka	Pozice	Barva	Příkon [W]	Odběr [mA]
1.	tlumené		přední	bílá	70	5833
2.	dálkové		přední	bílá	70	5833
3.	denní		přední	bílá	0,96	80
4.	směrové P		přední/zadní	oranžové	1,88	156
5.	směrové L		přední/zadní	oranžové	1,88	156
6.	obrysové		zadní	červené	0,36	30
7.	brzdové		zadní	červené	4,50	375
8.	couvací		zadní	bílé	2,76	230
9.	KPS		horní	modrá	0,72	60
10.	SKC		horní	červená	1,80	150

U každého okruhu je zapotřebí z příslušného příkonu vypočítat odběr a navrhnout tak vhodně výkonový stupeň (budící a výkonový obvod), který bude spínat jednotlivé výstupy. Odběr je vypočítán ze vztahu:

$$I = \frac{P}{U} \quad (2.1)$$

kde  $I$  [A] – odběr proudu,  $P$  [W] – příkon,  $U$  [V] – napětí.

Předpokládá se, že palubní systém Democar je založen na 12-ti voltové napájecí síti. Napětí  $U$  je tedy rovno hodnotě 12 V.

Okruh tlumených a dálkových světel je dimenzován na příkon původních vláknových žárovek pro případ, že bude nutná rychlá výměna za poškozenou LED žárovku, která je velmi specifická a špatně dostupná. Primárně jsou ale pro osvětlovací soustavu určeny světelné zdroje s technologií LED, které se vyznačují nízkým odběrem elektrické energie.

#### 2.2.4 Definování požadavků pro návrh výkonové části jednotky LCU

Předpokládá se, že ŘJ osvětlovací soustavy bude nejen řídit, ale také spínat jednotlivé výstupy. Je tedy nutné v první řadě definovat požadavky na výkonovou část osvětlovací soustavy s ohledem na řízení procesů a předpokládanými vlastnostmi osvětlovací soustavy jako takové. Požadavky na výkonovou část tedy jsou:

- napájecí napětí 12V,
- spínání výstupních okruhů požadovanými proudy,
- možnost řídit výstupní okruhy prostřednictvím pulzně–šířkové modulace (PWM),
- informace o protékajícím proudu jednotlivých okruhů,
- ochrana proti nadproudu,
- ochrana proti přepětí a podpětí,
- teplotní ochrana,
- zpětná vazba hlášení poruch.

Dle požadavků uvedených výše je vybrán obvod MC17XS6500 – pěticestný výkonový spínač určený pro koncové stupně řídicích jednotek v automotive, který má schopnost ovládat 5 na sobě nezávislých výstupů, komunikuje skrze SPI, má integrovány ochranné bloky a nízký odpor v sepnutém stavu. Je použit jak u prototypu jednotky LCU, tak i u komplexní jednotky osvětlovací soustavy.

### 2.2.5 Popis obvodu MC17XS6500

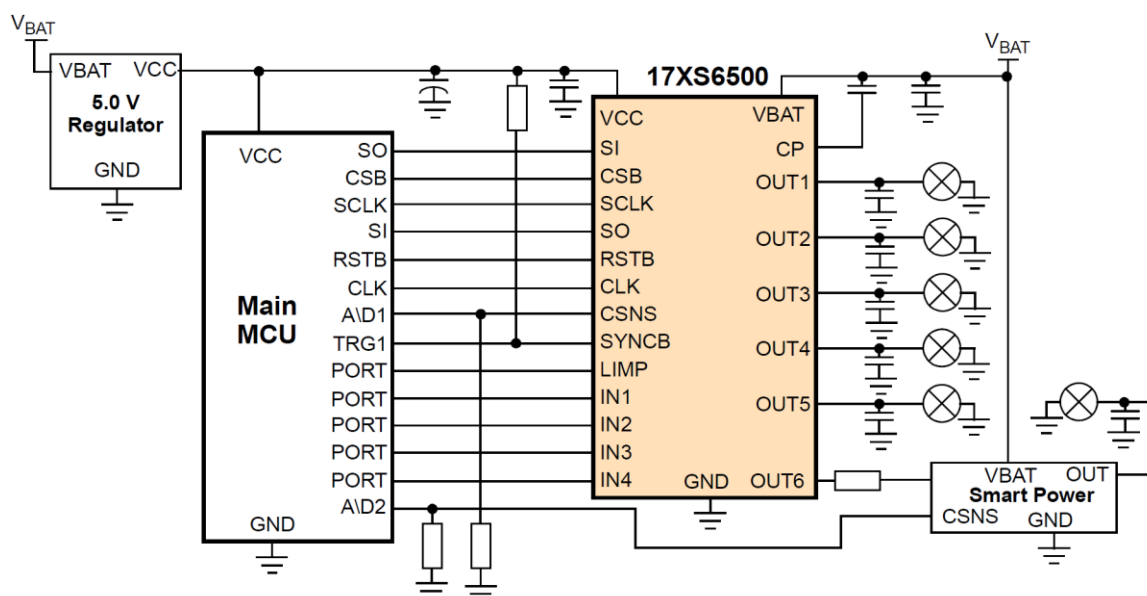
MC17XS6500 je v současné době moderní obvod firmy Freescale, který se využívá pro různé aplikace řešení koncových stupňů ŘJ osvětlení, řízení DC motorů, a dalších. Jedná se o pěticecenný výkonový spínač s vlastní ochranou proti přetížení. Obsahuje pět MOSFET tranzistorů s nízkým odporem v sepnutém stavu ( $17\text{ m}\Omega$ ).

Programování, ovládání a diagnostika jsou realizovány pomocí sériového rozhraní (SPI). Díky vysoké rychlosti přeběhu na výstupu se zlepšuje elektromagnetická kompatibilita EMC. Paralelní vstupy jsou k dispozici pro alternativní řízení výstupů. Vlastní diagnostika je rozšířena o digitální a analogovou zpětnou vazbu. Výkonový spínač obsahuje integrovaný rozšířený PWM modul s možností 8-bitového pracovního cyklu pro PWM modulaci.

Vždy, když dojde ke ztrátě komunikace s externím mikrokontrolérem, zařízení přejde do režimu Fail, ale obvod je stále funkční, kontrolovatelný a chráněný. [8]

#### Vlastnosti:

- pěticecenný vysokovýkonový spínač s vlastní ochranou proti přetížení, přehřátí a podpětí,
- odpor v sepnutém stavu  $R_{DS(ON)} = 17\text{ m}\Omega$ ,
- 16-bitová 5,0 MHz SPI komunikační rozhraní pro ovládání nadproudových funkcí, ovládání výstupních kanálů včetně modulace PWM, vypnutí při tepelném přetížení,
- monitorování výstupního proudu s programovatelným synchronizačním signálem a zpětnou vazbou o hodnotě napětí baterie,
- provozní napětí 7,0 – 18 V, v rozšířeném režimu 6,0 – 28 V,
- odběr proudu  $< 5,0\text{ }\mu\text{A}$  ve spánkovém režimu (Sleep Mode),
- vylepšená ochrana zabráňující přepólování napětí do úrovně  $-16\text{ V}$ ,
- ochrana při odpojení uzemnění,
- vynikající odolnost EMC,
- pouzdro kompatibilní s SOIC32.



**Obr. 2.7** Příklad zapojení výkonového spínače 17XS6500[4]

### SPI konfigurace

SPI je 16-bitový obousměrný synchronní přenos dat. SPI komunikace mezi mikrokontrolérem (master) a výkonovým spínačem (slave) je použita pro ovládání a nastavení zařízení (pouze v režimu Normal). Dále umožňuje diagnostiku v režimech „Normal“ i „Fail“.

Rozhraní se skládá ze 4 I/O vodičů s 5 V CMOS logickou úrovní:

- SCLK je hodinový signál pro vnitřní posuvný registr,
- SI přijímá data do vstupního posuvného registru na náběžnou hranu SCLK signálu,
- SO vysílá data z výstupního posuvného registru (mění svůj stav na náběžnou hranu SCLK),
- CSB umožňuje komunikaci SPI,
  - logická „0“ – dochází k přenosu SPI dat do vnitřních registrů,
  - logická „1“ – signál SCLK a SI jsou ignorovány a na SO je vysoká impedance.

Jestliže vstup RSTB je v logické „0“, SPI není povoleno a registry poruch se resetují. Pakliže je RSTB v logické „1“, zařízení je v režimu „Wake“ a je možná komunikace po SPI. Funkce SPI je ověřována kontrolou věrohodnosti. V případě poruchy SPI se přístroj přepne do režimu „Fail“. [4]

### Vstupní registr a bitový popis

První část z 16-bitového slova (D15 ÷ D12) slouží jako adresa bitů. Datové bity jsou obsaženy v 11-ti bitech (D10 ÷ D1). Bit D11 je WD (Watchdog) – přepínací kontrolní bit, který musí s každým příkazem zápisu měnit svoji logickou hodnotu. WD slouží jako kontrola komunikace SPI. Jestliže nebude v rámci časového limitu proveden WD, je detekována chyba SPI komunikace. Například dojde ke ztrátě datového slova a logická hodnota WD se bude rovnat předchozímu datovému příkazu. Potom se komunikace SPI vyhodnotí jako chybová a přechodem do „Fail“ módu bude zakázána.

**Tab. 2.2** Popis vstupního registru pro SI data

Registr	SI adresa				SI data												
	#	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
jméno		4-bit adresa				WD	11-bit data										

Pro prvotní konfiguraci zařízení je nutné poslat dva inicializační datové příkazy na adresu #0 a #1. Bez správné inicializace není zařízení schopno komunikovat po SPI a provádět požadované funkce. Bližší popis posuvného registru a význam jednotlivých bitů je zobrazen v tabulce A.1 v příloze A.

Obvod 17XS6500 je schopen vracet informaci o hodnotě protékajícího proudu jednotlivých výstupních kanálů, napájecího napětí  $V_{BAT}$  a teploty samotného výkonového spínače. To vše je umožněno prostřednictvím pinu CSNS a zpětnovazebního analogového obvodu. Integrovaný multiplexer je nastavován pomocí MUX2, MUX1 a MUX0 bitů, které jsou konfigurovatelné prostřednictvím SPI na adrese *inicializace 1* registru #0. V závislosti na nastavení bitů MUX2 až MUX0 je použita požadovaná analogová zpětná vazba. Vnitřní struktura obvodu je uvedena v příloze A na obrázku A.1. [4]

### 2.3 Návrh prototypu jednotky LCU

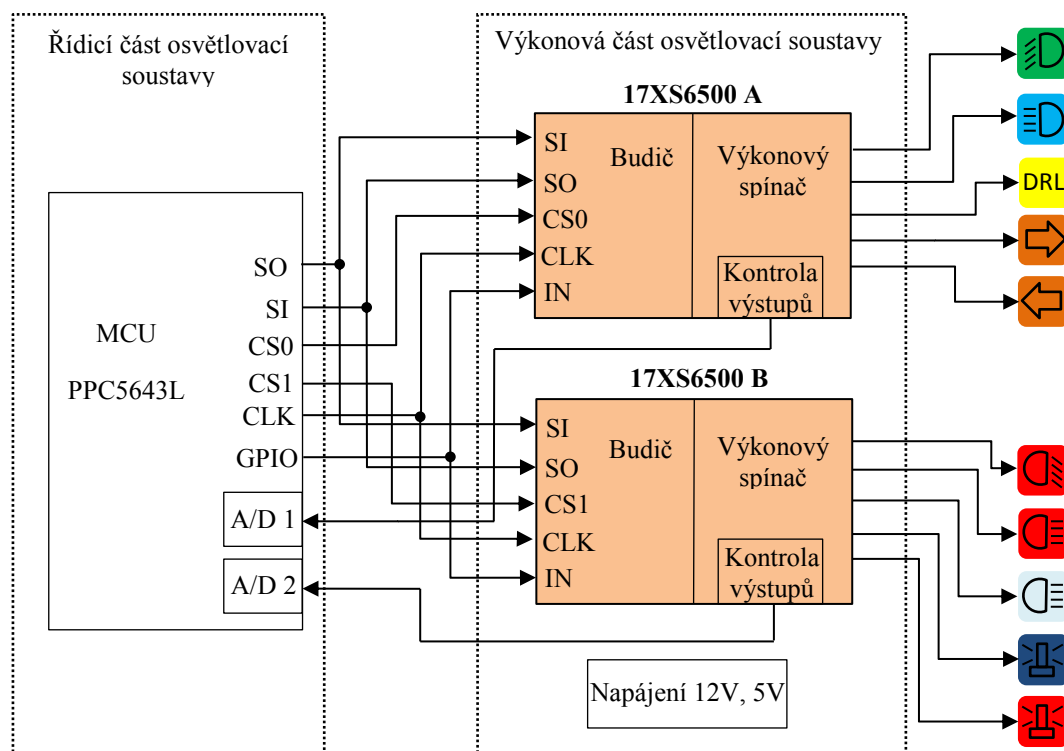
Prototyp jednotky LCU je určen pro vývoj aplikace, a skládá se ze dvou modulů (řídící a výkonové části). Tato konstrukce umožňuje individuální nastavení a propojení modulů, v závislosti na požadavcích ze strany vyvíjeného softwaru osvětlovací soustavy. Je možné při vývoji upravovat jednotlivé periférie, popřípadě ladit aplikaci nejen po softwarové, ale i hardwarové stránce. To velmi přispívá k efektivnosti vývoje a kvality finální řídicí jednotky.

Po vývoji aplikace zabývající se ovládáním osvětlovací soustavy na vozidle Democar je díky zvolené koncepci není prototyp jednotky LCU pouze jednoúčelový, ale bude nadále



využíván pro laboratorní výukové účely. Eventuální široké spektrum využití prototypu jednotky je pro aplikace, které požadují parametry odpovídající navrženému prototypu.

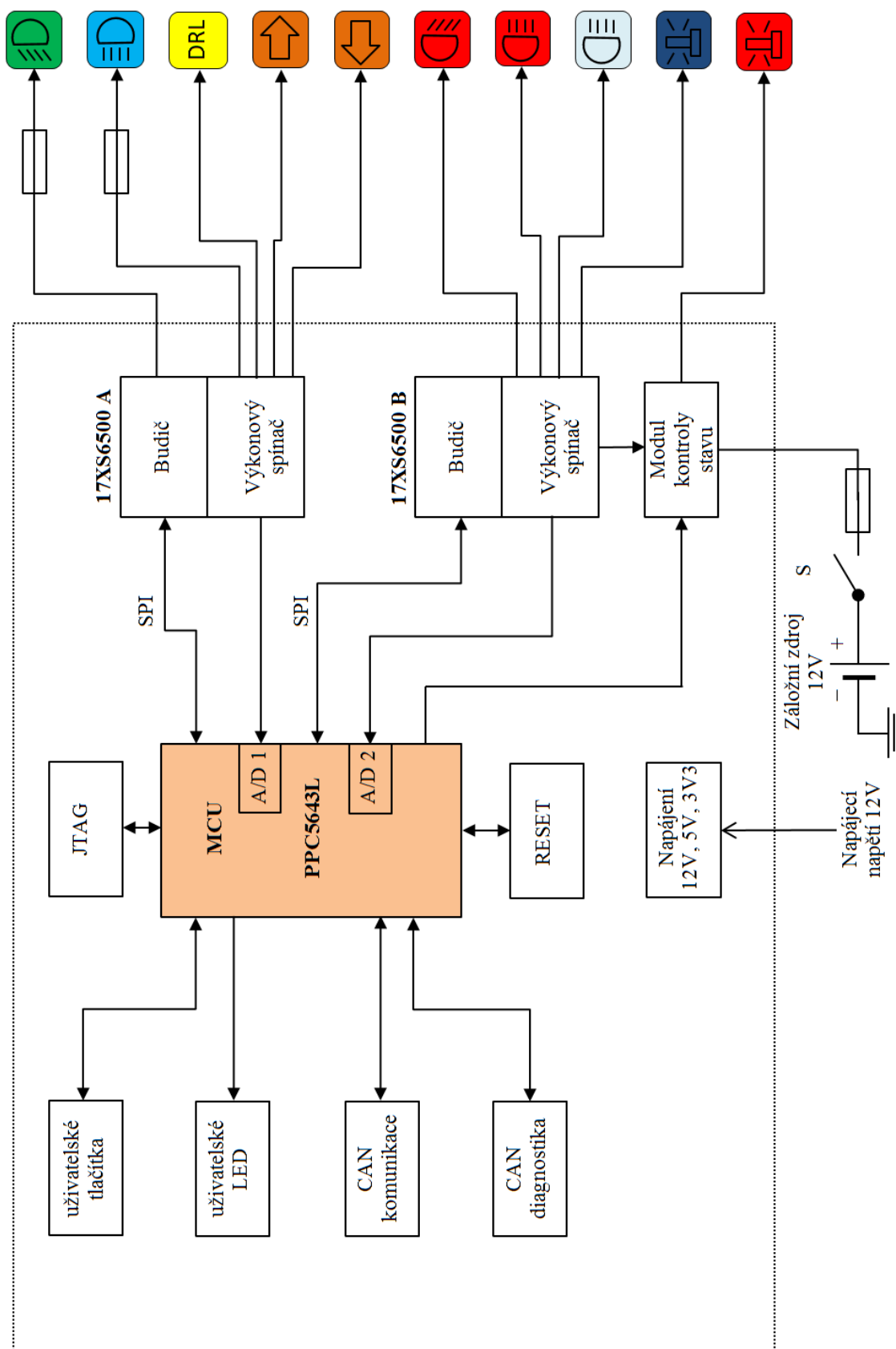
Na obr. 2.8 je možné vidět blokové schéma prototypu LCU a využívané propojení řídicí částí osvětlovací soustavy s výkonovou částí, pomocí SPI periférie. Při zapojení SPI komunikace dle obrázku 2.8, pracuje mikrokontrolér v režimu *master*. Generuje hodinový signál použitý při obousměrném přenosu dat. Na základě signálu CS (*chip select*), je konán výběr požadovaného zařízení (uzel). Tyto uzly jsou v režimu *slave*. Data je možné posílat i prostřednictvím signálů IN z univerzálního GPIO výstupu. Výkonová část je schopna mikrokontroléru předávat informaci skrze analogový signál o aktuálním proudu jednotlivých výstupů. Prototyp jednotky musí obsahovat možnost připojení napájení a být chráněna proti přepólování a přepětí.



**Obr. 2.8** Blokové schéma prototypu LCU systému osvětlení

## 2.4 Návrh komplexní struktury jednotky LCU

Při návrhu řídicí a výkonové části jako celku, tedy celistvé ŘJ osvětlovací soustavy, se vychází z poznatků, získaných testováním prototypu jednotky LCU. Na obrázku 2.9 je vidět blokové schéma vnitřní struktury této jednotky.



**Obr. 2.9** Blokové schéma vnitřní struktury jednotky LCU



Mikrokontrolér PPC5643L je pro svoji univerzálnost, přítomnost periférií CAN, FlexRay a A/D převodníků, velice vhodný pro automotive aplikace, tedy i pro řízení osvětlovací soustavy. Mikrokontrolér je propojen s obvody 17XS6500 A a B a zapojení je podobné jako u prototypu. Zpětná vazba od výkonových spínačů zajišťuje kontrolu parametrů obvodu a zpracovávají je vnitřní A/D převodníky mikrokontroléru PPC5643L.

Výrazná změna oproti prototypu nastala jednak integrací veškeré elektroniky (řídící a výkonové části) na jednu desku plošného spoje a dále přidáním modulu kontroly stavu. Tento modul slouží jako ochranný prvek. V případě nutnosti modul kontroly stavu, přepne ovládání světla SKC z řízeného na statické, dokud není závada odstraněna. Spínač S je umístěn mimo jednotku LCU (na vozidle Democar) a umožňuje modulu připojení k napájecímu napětí přes záložní zdroj.

K mikrokontroléru jsou přiřazeny tlačítka a světelné LED diody s možností uživatelského nastavení. Tyto periférie umožňují lépe testovat a ladit vyvíjenou aplikaci. K tomu přispívá i funkce RESET, která umožňuje restartovat MCU a není tedy nutné odpojovat řídící jednotku od napájení pro opětovné spuštění řídicího programu.

Řídící jednotka dále disponuje dvěma CAN rozhraními. Jedno je určeno pro komunikaci s ostatními jednotkami a druhé pro sériovou diagnostiku. Jsou to, vedle SPI, hlavní periférie, prostřednictvím kterých dostává jednotka LCU informace a povely od ostatních řídicích jednotek umístěných na vozidle Democar.

Výstupům, ovládacím potkávacím a dálkovým světelným zdrojům, jsou přiřazeny pojistky, zabránící trvalému poškození kabelových svazků v případě, nastane-li porucha světlometů nebo řídící jednotce LCU a dojde ke zkratu. Jedná se o pomocný ochranný prvek, jelikož samostatné obvody 17XS6500 mají schopnost detekovat zkrat na výstupu a provést zablokování sepnutí koncových tranzistorů.

Pro nahrání požadované aplikace do mikrokontroléru PPC5643L je využit programovací konektor JTAG. Umožňuje připojit externí programátor a přes USB rozhraní, z vývojového prostředí IDE, aplikaci zapsat do FLASH paměti mikrokontroléru. Programovací a ladící rozhraní je schopné nejen programovat, ale také „debugovat“, což umožňuje testovat, sledovat aktuální hodnoty, stopovat a krokovat chod programu. Dochází tedy k přímému ladění kódu.

### 3 Praktická realizace

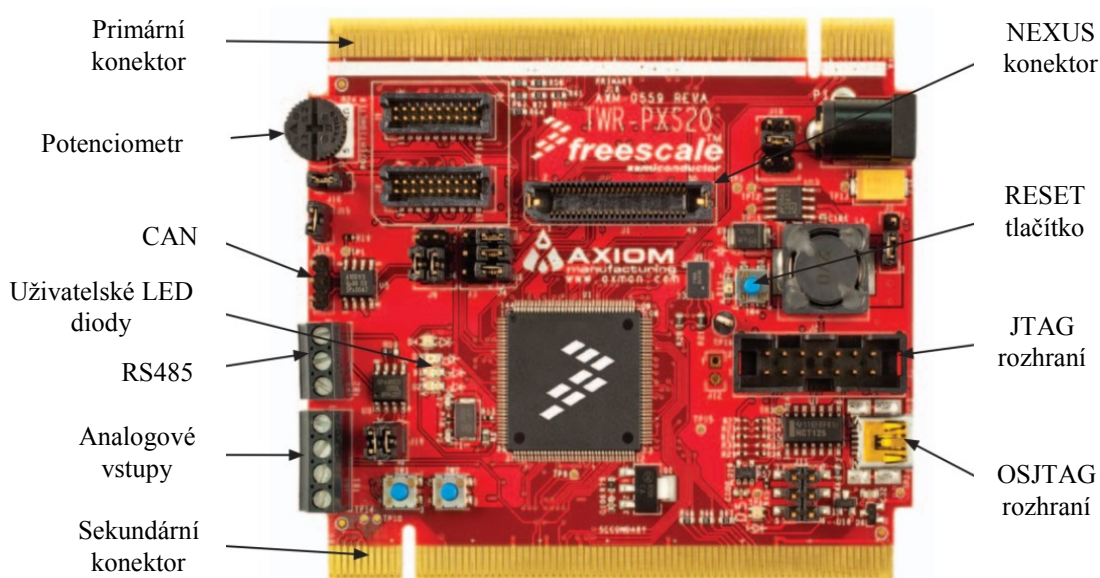
V této části diplomové práce je blíže popsán vývoj a samotná konstrukce nejen prototypu jednotky LCU, ale i komplexní koncepce řídicí jednotky osvětlovací soustavy. Návrh jednotlivých verzí řídicí jednotky LCU je proveden v programu Eagle 5.6.0.

Jak bylo již zmíněno, vývoj aplikačního softwaru je prováděn za pomoci vývojového kitu TOWER PXS20 dodávaným firmou Freescale. Výhodou vývojové platformy je univerzálnost, možnost připojení mnoha periférií a doplnění o další požadované funkce.

Základem je modul řídicí desky, ke kterému je dále možné připojit například modul vstupů/výstupů, modul přídavných senzorů nebo grafický display. Pro vývoj a testování požadované aplikace je postačující pouze modul řídicí desky a pro finální implementaci do vozidla Democar je nahrazena, na míru navrženou a vytvořenou, ŘJ LCU s využitím stejného typu mikrokontroléru.

#### 3.1 Popis modulu vývojové řídicí desky

Základem řídicí desky, která je zobrazena na obrázku 3.1 je řídicí obvod PPC5643L. Je to 32 bitový mikrokontrolér fungující na frekvenci až 120 MHz. Pro program a data je rezervována paměť 1 MB FLASH a 128 kB interní SRAM paměti pro samotná data. Mikrokontrolér disponuje mnoha různými perifériemi jako jsou například SPI, CAN, FlexRay a UART. Dále obsahuje analogově digitální převodník nebo generátor PWM. [8]



**Obr. 3.1** Řídicí deska TOWER systému TWR-PXS20[10]

Desku je možné napájet nejen prostřednictvím externího 5 V zdroje, ale také připojením USB portu z PC. Deska obsahuje regulátor napětí z 5 V na 3,3 V, kterými je

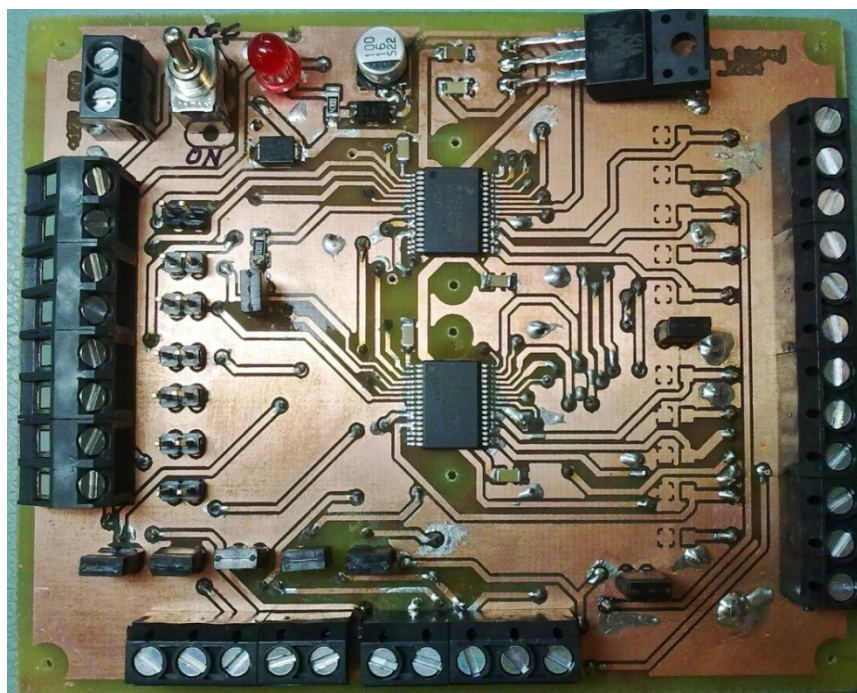
napájen samotný mikrokontrolér. Je možné využít konektory pro připojení nejen sběrnice CAN, SPI a připojení externích analogových vstupů. Modul řídicí desky je dále osazen uživatelskými LED diodami, tlačítky a potenciometrem pro ladění aplikací.

Mikrokontrolér PPC5643L je možné programovat a ladit hned pomocí několika zařízení. Lze připojit externí programátor JTAG, nebo využít k programování konektor NEXUS. Dále deska nabízí programování přes USB port k počítači prostřednictvím OSJTAG programátor/debuggeru. Požadovaná aplikace je vyvíjena a laděna prostřednictvím programátoru OSJTAG přes USB. Nahrávání programu je ovšem touto cestou značně pomalejší než externím programátorem (např. Multilink Universal). [12]

K vývojové řídicí desce je připojena výkonová část prototypu jednotky LCU, která vznikla z požadavku řízené výkonových obvodů 17XS6500 samotnou aplikací.

### 3.2 Praktická realizace prototypu jednotky LCU

Prototyp jednotky LCU, jak je možné vidět na obrázku 3.2, je osazen dvěma obvody 17XS6500 a to z toho důvodu, že je potřeba řídit 10 výstupů. Všechny vstupy i výstupy výkonového spínače jsou vyvedeny na konektory. Díky využití propojovacích pinů je možné zapojit, jak SPI rozhraní, tak i analogové I/O piny obvodu, pro sériové nebo paralelní řízení výstupních kanálů. Dále jsou propojovací piny určeny pro komfortnější měření signálů prostřednictvím sondy osciloskopu.



**Obr. 3.2** Osazená deska plošného spoje výkonové části prototypu jednotky LCU

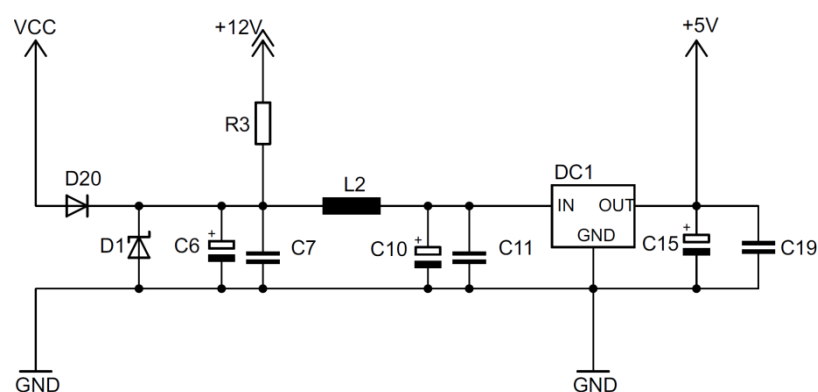
Obvod 17XS6500 je napájen napětím  $V_{CC} = 5\text{ V}$  a pro ovládání výstupních kanálů je nutné připojení i napájecího napětí  $V_{BAT} = 12 \div 15\text{ V}$ . Pětivoltová hladina je realizována pomocí regulátoru napětí  $V_{BAT}$  úrovně. Dále výkonová část soustavy osvětlení obsahuje vypínač pro připojení napájení, indikační diodu zapnutí a ochranu proti přepětí realizovanou transilem. Dioda zabezpečuje ochranu obvodu proti přepólování. Dokumentace k návrhu a výrobě výkonové části prototypu LCU je uveden v příloze B.

Prototyp ŘJ osvětlovací soustavy je využíván pro vývoj aplikace a testování, ale pro implementaci do struktury řídicích systémů vozidla Democar je určena komplexní jednotka LCU.

### 3.3 Praktická realizace komplexní jednotky LCU

V této kapitole jsou popsány některé důležité části řídicí jednotky, které byly využity při realizaci jednotky LCU. Srdcem celého systému osvětlovací soustavy, je již zmíněný mikrokontrolér PPC5643L, ze kterého jsou využity periférie SPI a CAN. Dále vstupy čtyřnásobného A/D převodníku a 3 GPIO piny. Zvolený krystal 40 MHz umožňuje širokou volbu přenosových rychlostí pro samotný chod jednotlivých periférií a programu. Mikrokontrolér má 2 napájecí úrovně, z nichž hlavní je úroveň 3,3 V. Pro A/D převodníky byla zvolena napájecí úroveň 5 V, aby bylo napětí zachováno pro převod z analogové na digitální hodnotu.

Napájecí napětí jednotky LCU je zvoleno stejně jako u osobních motorových vozidel, tedy  $12 \div 15\text{ V}$ . Ochranou proti přepólování vstupního obvodu (obr. 3.3) je dioda D20, dimenzována na 10A. Transil D1 na vstupu chrání obvod proti napěťovým špičkám.

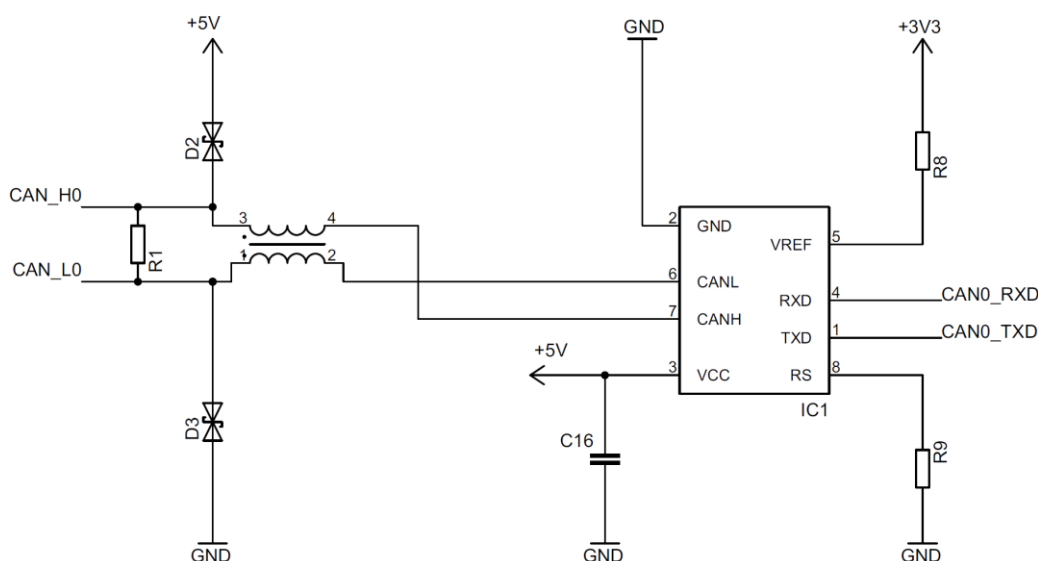


**Obr. 3.3** Zapojení vstupního obvodu jednotky LCU

Filtrační tlumivka L2 je do obvodu vložena jako odrušovací element, aby se případné rušení od spínacích prvků obvodu nepřenášelo do palubní sítě vozidla Democar. Jelikož je žádoucí napájet jednotlivé prvky jinou napěťovou úrovní, je nutné použít měniče napětí

(spínaný zdroj) pro převod z 12 V na 5 V. Následný převod z 5 V na 3,3 V je proveden prostřednictvím regulátoru napětí.

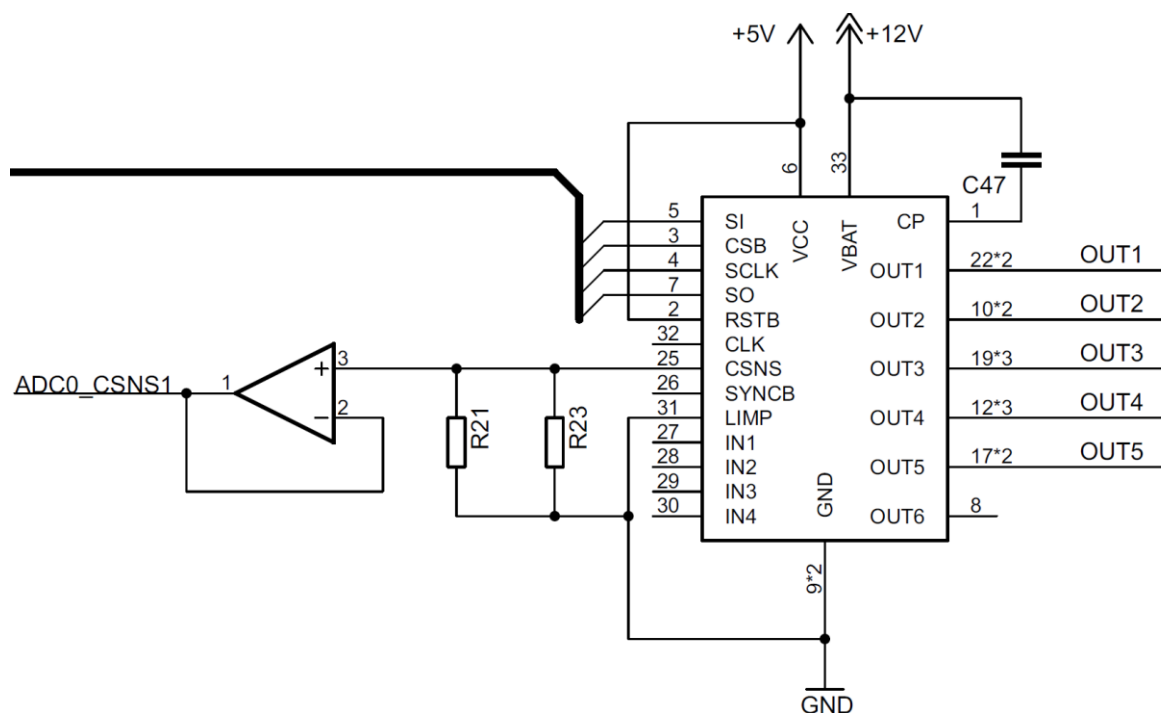
CAN budiče disponují napájecím napětím 3,3 V a jejich samostatné zapojení je vidět na obrázku 3.4. Pro vyhlazení signálů CAN\_H a CAN\_L je vložena mezi vstup/výstup a CAN budič tlumivka. Z důvodu možného výskytu napěťových špiček jsou umístěny bipolární transily D2 pro signál CAN\_H a D3 pro CAN\_L. V závislosti na délce CAN vedení je nutné připojení ukončovacích odporů 120  $\Omega$  na konci sítě. Je výhodné přiřadit terminační odpor R3 již do obvodu ŘJ a není tedy potřeba řešit ukončovací odpory při tvorbě CAN vedení.



**Obr. 3.4** Zapojení CAN budiče

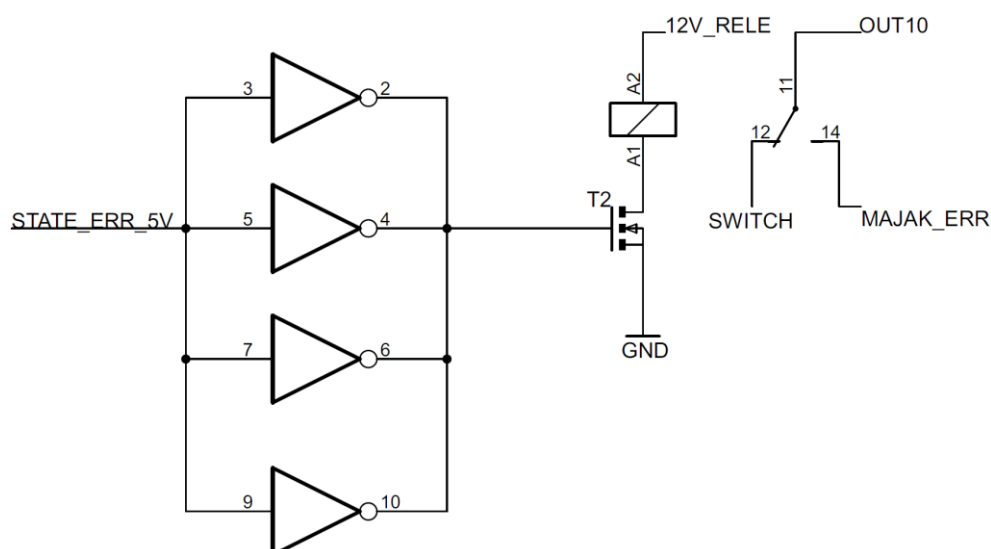
Pěticestný výkonový spínač 17XS6500 je propojen s mikrokontrolérem prostřednictvím sériového periferního rozhraní SPI. Jelikož PPC5643L má k dispozici úroveň logických stavů pro SPI 3,3 V a budiče mají definovanou úroveň TTL. Z tohoto důvodu je nutné vložit obvod CBTD3384, který bez problému dokáže změnit napěťovou úroveň z 3,3 V na 5 V. Výhodou tohoto obvodu je schopnost obousměrného převodu až pro 10 různých signálů. [13]

A/D převodník mikrokontroléru je připojen k obvodu 17XS6500 tak, že může snímat napětí v závislosti na hodnotě výstupních proudů nebo teplotě. Výstupní pin CSNS musí být propojen k zemi prostřednictvím odporu 5 k $\Omega$ , aby byl možný měřit úbytek napětí odpovídající protékajícímu proudu. Jak je vidět na obrázku 3.5, díky paralelnímu zapojení odporů R21 a R23 (každý 10 k $\Omega$ ) je dosaženo přesné hodnoty. Napěťový sledovač, připojený k mikrokontroléru, slouží k impedančnímu přizpůsobení.



**Obr. 3.5** Zapojení obvodu 17XS6500

Zapojení modulu kontroly stavu je zobrazeno na obrázku 3.6. Při inicializaci řídicího systému je vstup STATE\_ERR\_5V nastaven na logickou „0“. Čtyři paralelně zapojené invertory slouží k proudovému posílení signálu, prostřednictvím kterého tranzistor přepne relé, z trvalého napájení chybového světla SKC na řízené ovládání.



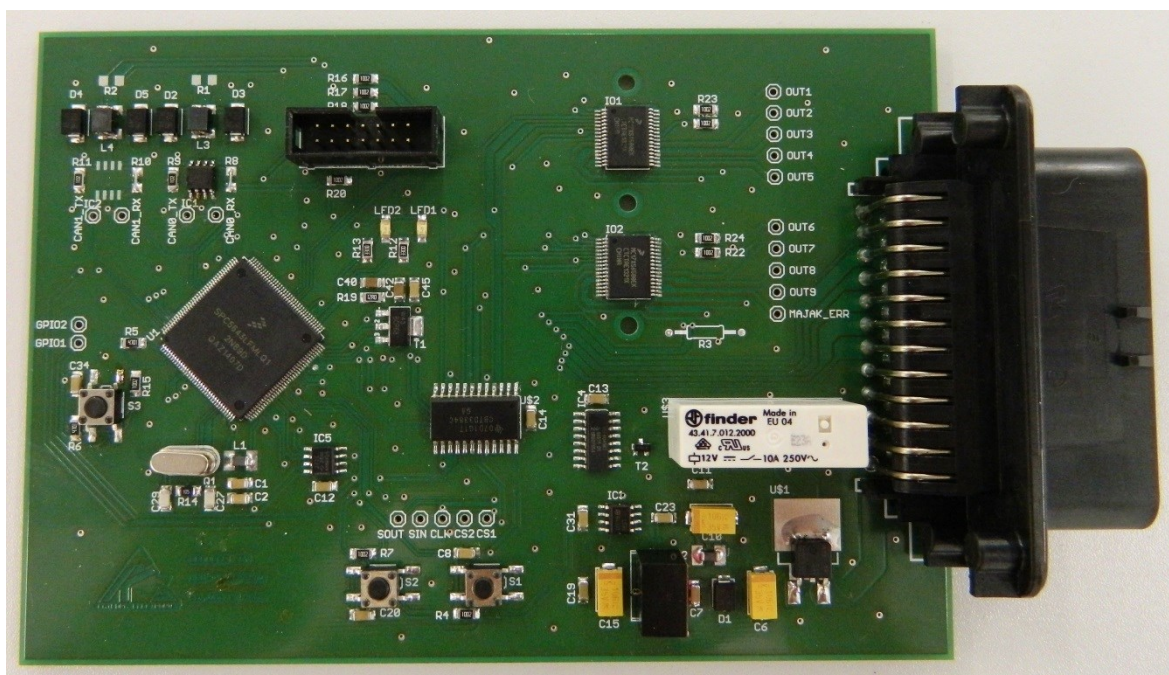
**Obr. 3.6** Zapojení modulu kontroly stavu

K mikrokontroléru jsou dále připojeny dvě tlačítka a LED diody s možností uživatelského nastavení, testování a ladění dané aplikace. Je využito i tlačítko umožňující reset MCU. Paralelně ke spínačům je připojen kondenzátor proti zákmitům a odpadá tím nutnost řešit tento nedostatek softwarově.



Na desce plošného spoje jsou umístěny dutinkové kontakty pro možnost přiložení sondy osciloskopu, popřípadě připojení dalších prvků. Dutinkové kontakty jsou připojeny na CAN rozhraní před budič, aby bylo možné snímat data komunikace CAN. Dále jsou kontakty použity u jednotlivých výstupů výkonových spínačů a ke vstupům vedoucí z mikrokontroléru do obvodu CBTD3384.

Deska plošného spoje řídicí jednotky LCU je osazena 35 pinovým konektorem (příloha C), který je určen pro automotive aplikace. Jeho hlavními rysy jsou zámek pro zajištění svorkovnice do konektoru, vodotěsnost a odolnost vůči provozním kapalinám motorového vozidla. Pro proudové posílení jsou využity vždy 3 piny pro napájení jednotky a tři piny pro uzemnění. Na konektor jsou vyvedeny dvě CAN rozhraní, výstupní okruhy světel a pin napájení ze záložního zdroje, pro modul kontroly stavu. Aby bylo možné doplnit další zařízení a signály, jsou vyvedeny piny pro A/D převodníky mikrokontroléru nebo GPIO vstupů. Ty je možné využít například pro připojení optického snímače, který by byl schopen ovládat světlomety v závislosti na intenzitě slunečního svitu.



**Obr. 3.7** Osazená deska plošného spoje komplexní jednotky LCU

Na obrázku 3.7 je možné vidět již osazenou desku plošného spoje komplexní jednotky LCU. Jednotka bude uložena do hliníkového pouzdra z důvodu lepšího odvodu tepla z desky plošného spoje. Bližší dokumentace komplexní jednotky LCU je uvedena v příloze C.

## 4 Vývoj aplikačního softwaru

Realizace vozidla Democar je rozsáhlý projekt, jehož vývoj je časově náročný. Předpokládá se, že tato diplomová práce bude využívána do budoucna dalšími vývojáři pracujícími na projektu Democar. Vzhledem k celkové náročnosti aplikace je žádoucí použít operační systém, pro umožnění jednoduššího přístupu ke všem perifériím a procesům. Není tedy nutné vždy studovat velké množství nastavení mikrokontroléru a programátor se dokáže rychleji orientovat v dané aplikaci. Jelikož je potřeba řídit jednotlivé procesy v reálném čase, využívá se pro tento řídicí systém RTOS.

Pro hlavní řídicí obvod, mikrokontrolér PPC5643L vyroben firmou Freescale, je použit operační systém reálného času s názvem MQX 3.8 (dále jen MQX) vyvinut stejnou firmou. Výhodou je, že Freescale má MQX upravený na míru pro jejich mikrokontroléry a implementace OS do používaného řídicího obvodu je poměrně jednoduchá.

### 4.1 Popis RTOS MQX 3.8

MQX je operační systém pro práci v reálném čase, navržen pro jedno nebo více jádrové procesory. Mezi hlavní vlastnosti patří škálovatelnost, komponentně orientovaná architektura a snadnost použití.

MQX je monolitický operační systém, jež používá oddělení paměťového prostoru pro aplikace a paměťového prostoru jádra. Zvyšuje se tak bezpečnost a zabezpečení systému.

MQX je vlastně knihovna systém funkcí. Skládá se z jádra nevolitelných komponentů a z volitelných součástí. Funkce obsažené v jádře se stanou součástí obrazu (image) pouze tehdy, pokud jsou ze samotného MQX nebo z aplikace skutečně volány. To zásadně přispívá k malé velikosti MQX. Pro zabezpečení požadavků aplikace je nutné zařadit do obrazu požadované části. [6]

Mezi součásti jádra patří:

- Inicializace
- Správa úloh
- Plánování
- Jednoduché semaforey
- Správa paměti
- Správa zásobníku
- Zpráva chyb

Mezi volitelné součásti patří:

- Ovladače periférií
- Mutexy
- Přerušování
- Semaforey



- Fronty
- Pokročilá zpráva paměti
- Události
- Správy
- Časovače
- Ladění

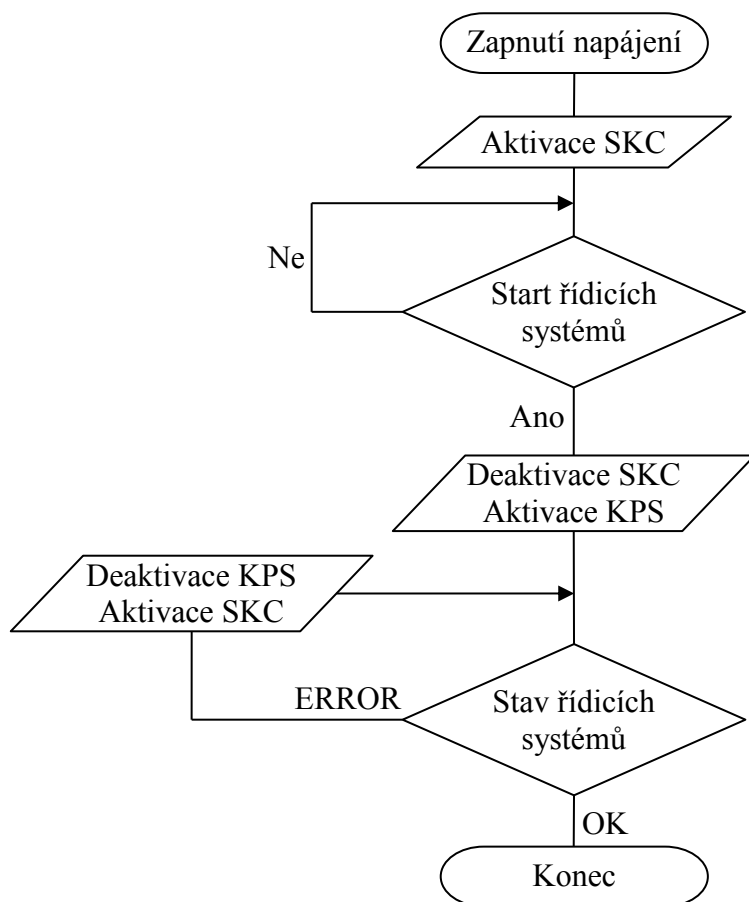
Nejdůležitější přídatnou komponentou jsou ovladače periférií. Ty obsahují jejich nastavení a řešení jednoduchého přístupu uživatele k danému modulu. Díky nim uživatel nemusí znát podrobně veškeré registry. [6]

Pro přidání operačního systému MQX do projektu je nutné do vývojového prostředí CodeWarrior vložit potřebné soubory. Pro vložení potřebných souborů je nezbytné pouze přetažení souboru „twrpxs20.wsd“, který je umístěn v adresáři: „C:\Freescale\Freescale MQX 3.8\config\twrpxs20\cw10“. Dále je nutné upravit soubor „user\_config.h“, kde jsou zvoleny veškeré potřebné periférie. Je tedy nutné povolit jak sběrnici CAN, tak i SPI sběrnici a ovladače pro zápis do FLASH paměti. [12]

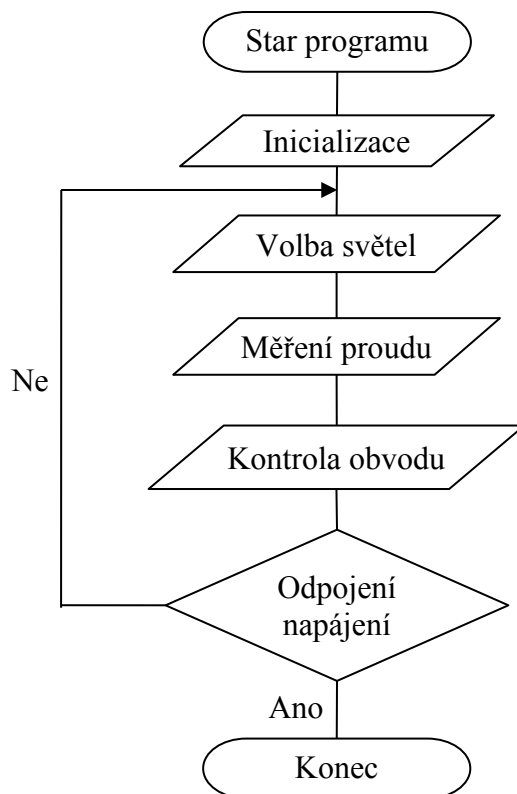
## 4.2 Struktura vyvíjené aplikace

Struktura aplikace pro řízení osvětlovací soustavy je popsána prostřednictvím vývojových diagramů. Každý diagram popisuje jednotlivé funkce, kterými řídicí systém disponuje.

Vývojový diagram na obrázku 4.1 zobrazuje prvotní uvedení programu do chodu. Tento proces byl již popsán v kapitole 2.1.1 *Princip činnosti*. Z diagramu je patrné, že nenastane nikdy situace, kdy by svítilo světlo KPS a zároveň SKC. Na první pohled je tedy uživateli dle signalizace zřejmé, kdy je vozidlo v plně funkčním provozu a kdy nastala chyba řídicího systému vozidla. Světlo SKC před zavedením programu řídicího systému svítí samostatně, zatímco nastane-li chybový stav již při běhu programu, se světlem SKC se rozsvítí i výstražné znamení.



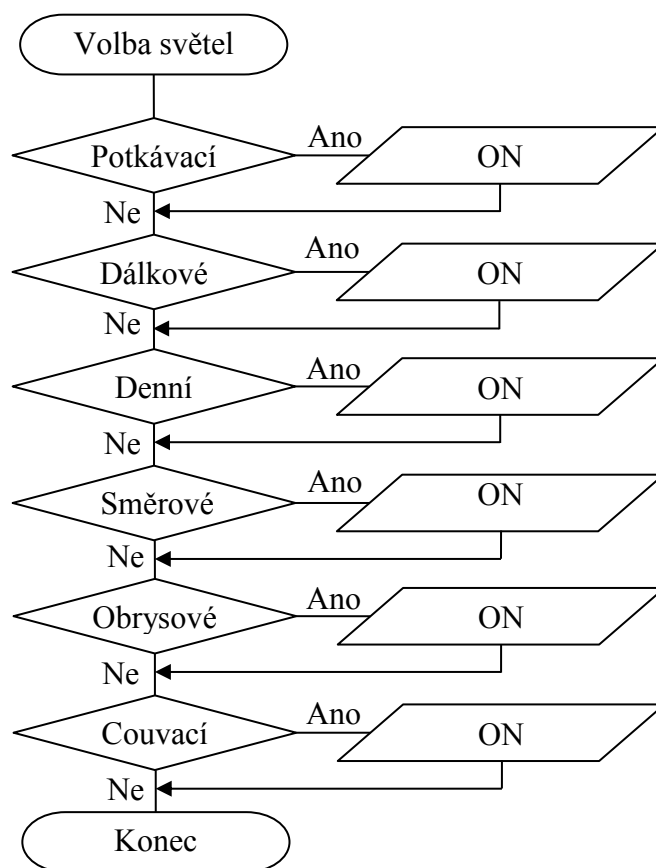
**Obr. 4.1** Vývojový diagram zavedení programu



**Obr. 4.2** Vývojový diagram chodu programu

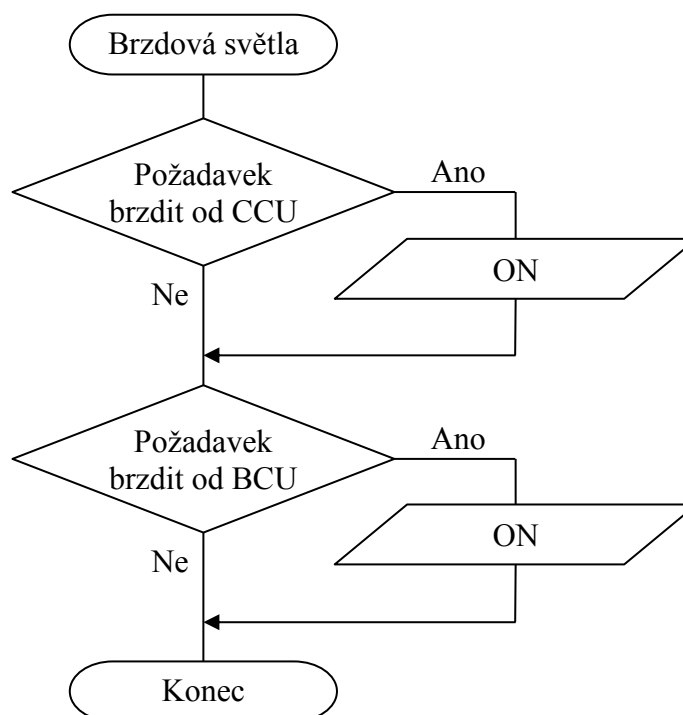
Samotný chod programu je interpretován vývojovým diagramem na obrázku 4.2. Pro správnou funkci všech částí programu je nutná prvotní inicializace, kde jsou definovány všechny používané periférie. Jsou zde provedeny inicializace CAN komunikace s resetováním data na sběrnici, nastavení SPI komunikace a její parametry, zavedeny AD převodníky, časovače a další. V neposlední řadě je provedena inicializace výkonového spínacího obvodu 17XS6500 a nastavení jeho konfigurace.

Program a jeho chod je možné rozdělit do tří podprogramů. *Volba světel* ovládá jednotlivé světelné zdroje dle přání uživatele, *měření* obstarává zpětnou vazbu od výkonových spínačů a *kontrola obvodu* dohlíží na aktuální stav jednotlivých prvků osvětlovací soustavy. Tyto podprogramy jsou vloženy do nekonečné smyčky a opakuji se do doby, než nastane odpojení napájení řídicího systému.



**Obr. 4.3** Vývojový diagram podprogramu volby světel

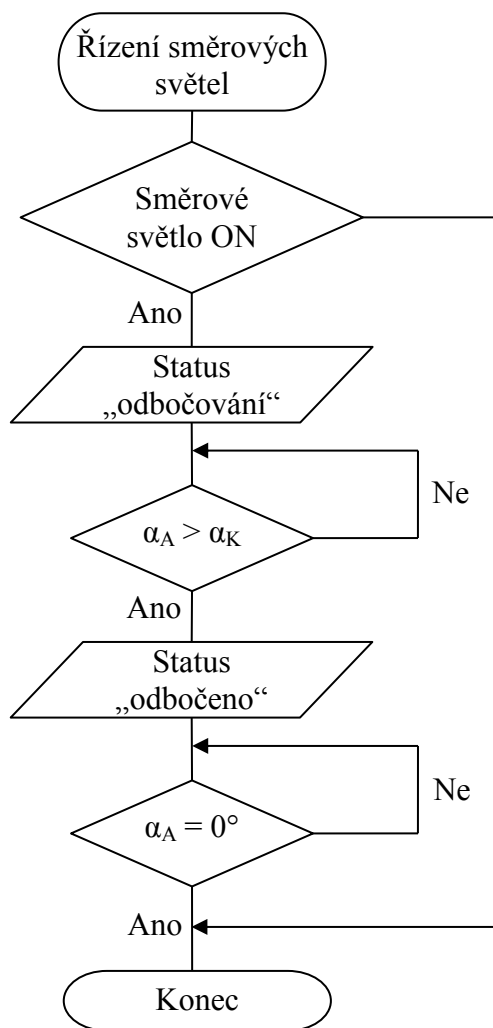
V podprogramu volby světel dochází postupně ke kontrole všech požadavků pro rozsvícení daného světla uživatelem. Tyto světelné prvky se aktivují přes CAN sběrnici prostřednictvím jednotky CCU, která zpracovává požadavky z vysílačky.



**Obr. 4.4** Vývojový diagram funkce brzdového světla

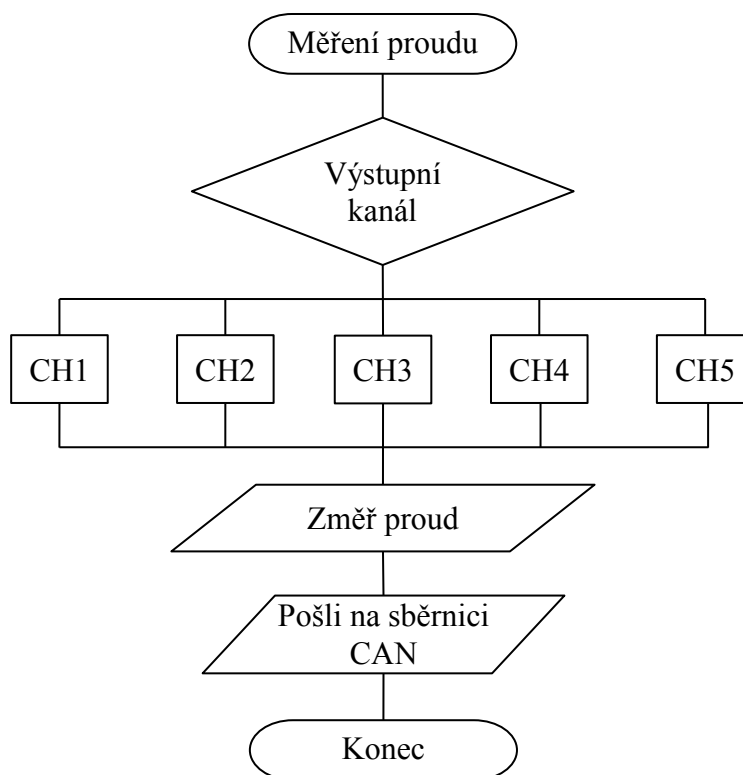
Brzdová světla se aktivují, jestliže je jedna ze dvou podmínek splněna. První podmínka je požadavek pro brzdový systém od jednotky CCU, který je interpretován intenzitou brzdícího účinku v procentech. Jakmile intenzita brzdné síly přesáhne 10%, brzdová světla se aktivují. Druhá podmínka vychází ze samotného brždění, o kterém je jednotka LCU informována prostřednictvím řídicí jednotky brzdového systému. Tato situace může nastat například při vzniku závady. Brzdový systém je naprogramován pro automatické zabrzdění vozidla a jednotka BCU pošle informaci systému osvětlení, který brzdová světla aktivuje. Vývojový diagram brzdových světel je zobrazen na obrázku 4.4.

Samotné ovládání pravého a levého směrového světla je rozšířeno o funkci automatické deaktivace. Funkce řízení směrových světel nahrazuje mechanické otáčení volantu, které je využito u osobních motorových vozidel. Jak je vidět na obrázku 4.5, funkce je dostupná pouze v případě aktivování směrového světla uživatelem, ať už levého nebo pravého. Dojde k nastavení statusu na „odbočování“ a LCU přijímá informaci od SCU o aktuálním natočení kol. Jakmile aktuální úhel natočení kol  $\alpha_A$  přesáhne kontrolovaný úhel  $\alpha_K = 10^\circ$ , změní se status na „odbočeno“ a aktivuje se kontrola  $\alpha_A$ , vůči nulovému úhlu natočení kol. V tento moment jsou směrové světlomety deaktivovány.

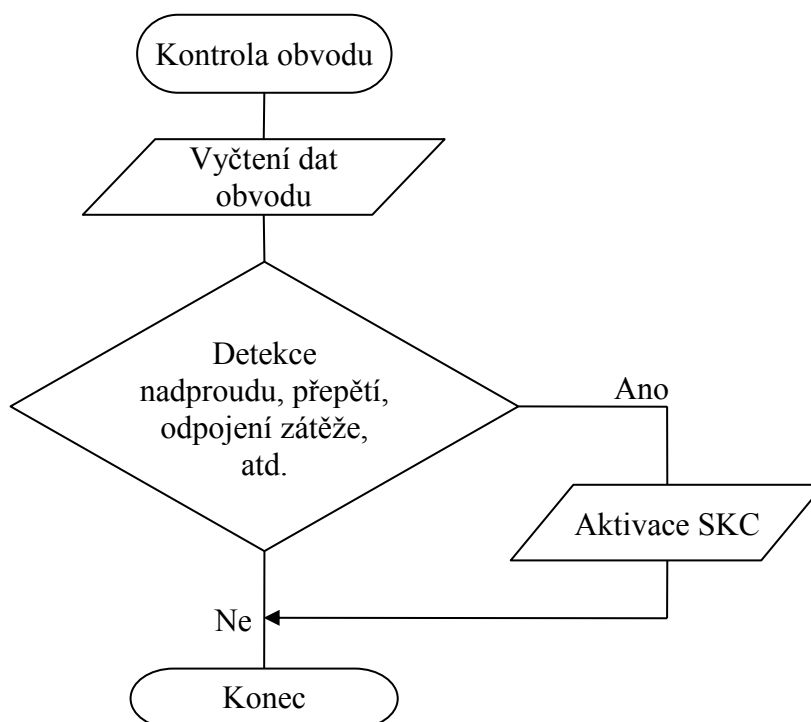


**Obr. 4.5** Vývojový diagram funkce brzdového světel

Vývojový diagram podprogramu měření proudu (obr. 4.6) znázorňuje výběr výstupního kanálu světel, na kterém se provede měření protékajícího proudu. Následně dochází ke změření hodnoty a poslání naměřených dat na CAN sběrnici. Vývojový diagram je zobrazen pro pět kanálů, odpovídajících jen jednomu výkonovému spínači. Měření na obvodech je prováděno současně pro jednotlivé kanály. Po změření prvních kanálů obou obvodů jsou hodnoty odeslány na sběrnici. Poté jsou změřeny druhé kanály obvodů a ty také poslány. To samé platí pro třetí, čtvrtý a pátý kanál.



**Obr. 4.6** Vývojový diagram podprogramu měření



**Obr. 4.7** Vývojový diagram kontroly obvodu 17XS6500

Vyčítání dat obvodů se provádí pro první 17XS6500\_A, a poté pro 17XS6500\_B. Data, přenášená skrze SPI, se kontrolují na přítomnost chybového stavu (nadproud, přepětí, zvýšená teplota, odpojení světla, zkrat). Kontrola obvodu se provádí každých

100 ms. Jestliže je detekován jeden z chybových stavů, aktivuje se světlo SKC. Po odstranění závady, či poruchy je nutné restartovat systém (odpojení a připojení napájení jednotky LCU), aby došlo k vymazání informace o chybovém stavu. Tento proces je nezbytný z důvodu bezpečnosti.

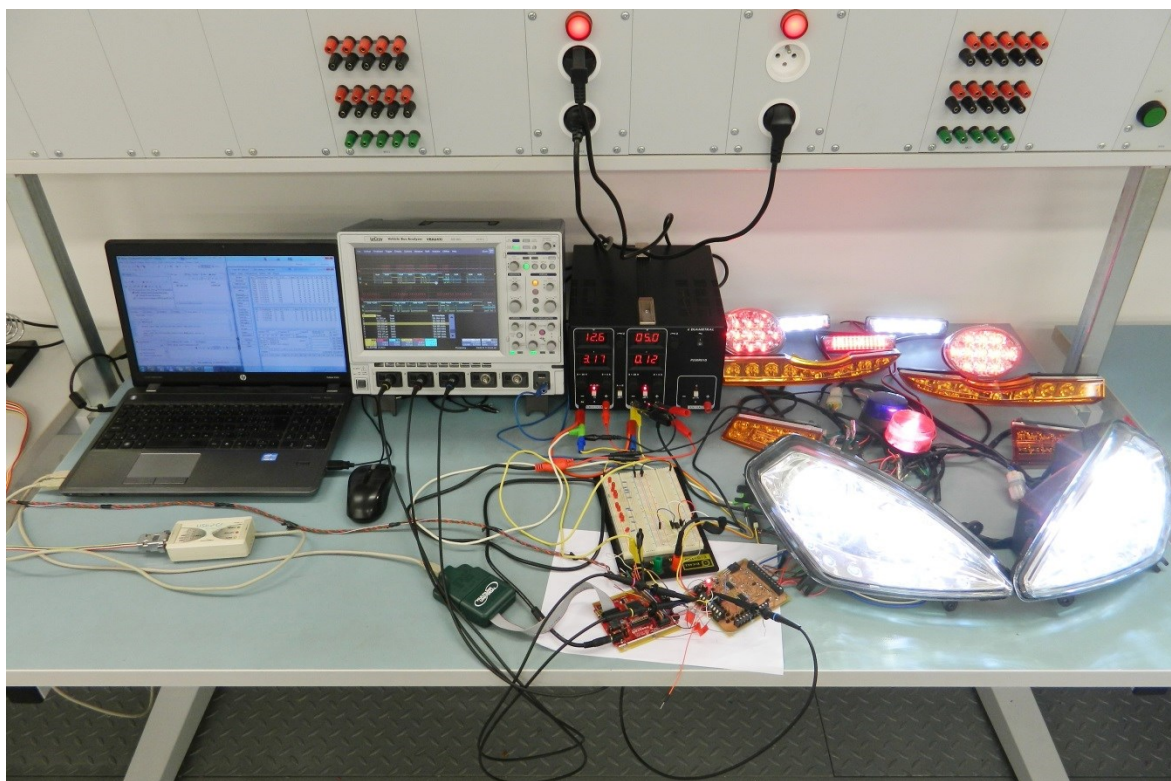
Uvedené funkce programu jsou hlavními částmi softwarové aplikace, ale nejsou zde uvedeny všechny procesy, které tvoří aplikace řízení osvětlovací soustavy. Ta nadále obstarává časování směrových světel, volbu rozsahu měřených hodnot, nastavení A/D převodníků, kontrolu a ochranu samotného systému a další. Samotný kód programu je vytvářen ve vývojovém prostředí CodeWarrior 10.4 a jako prostředek pro zápis algoritmu je využit programovací jazyk C.

## 5 Analýza a testování aplikačního softwaru

Analýza a testování aplikačního softwaru je nezbytná součást vývoje. Vede k ověření správného nastavení parametrů periférie, kontrolu posílaných a přijímaných dat komunikace SPI a CAN.

### 5.1 Vývojové a testovací pracoviště

Na vývojovém pracovišti (obr. 5.1) bylo prováděno veškeré ladění a testování prototypu jednotky LCU pro řízení osvětlovací soustavy. Řídící část prototypu jednotky LCU je napájena z laboratorního zdroje napětím 5 V a výkonová část prototypu je napájena 12 V. Pro nahrávání aplikací do mikrokontroléru PPC5643L je využit přes JTAG konektor externí programátor Multilink Universal.



**Obr. 5.1** Vývojové a testovací pracoviště

Pro testování dané aplikace jsou využívány čtyř kanálový osciloskop a adaptér USB2CAN pro komunikaci po CAN sběrnici.

### 5.2 Analýza SPI komunikace

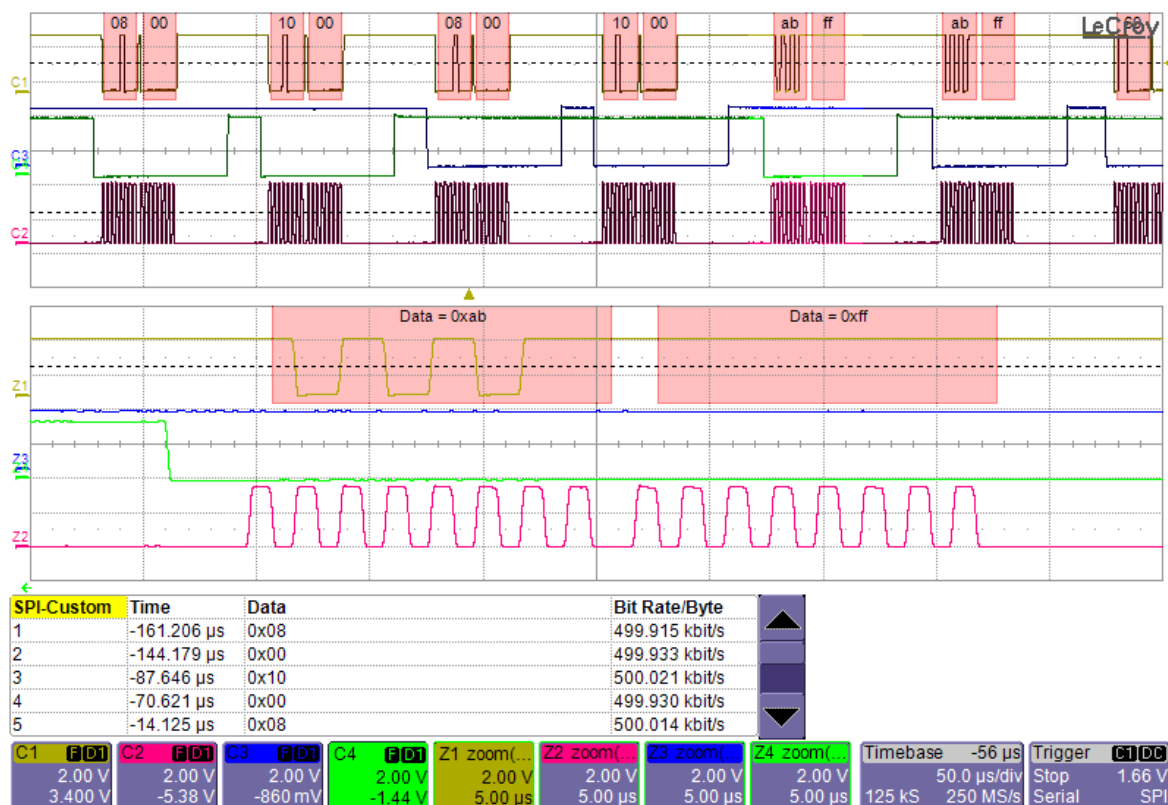
Sériové periferní rozhraní SPI je využíváno pro komunikaci mezi mikrokontrolérem a obvodem 17XS6500. Vhodným zařízením, pro ověření a testování této periférie, je osciloskop schopný analýzy sériové sběrnice. Pro tento účel byl využit osciloskop VBA



64Xi 600MHz, který disponuje funkcí „Vehicle/Serial Bus Analyzer“. Tato funkce umožňuje analýzu sběrnic, které se využívají nejen v motorových vozidlech. Jsou to například sběrnice UART, LIN, CAN, RS485, RS232 a samozřejmě SPI.

Při nastavení SPI analýzy, je nutné definovat senzitivitu jednotlivých kanálů na nástupnou nebo sestupnou hranu a polaritu hodinového signálu, pořadí významnosti bitů, vzorkovací frekvenci a časovou základnu. Na obrázku 5.2 je zobrazena SPI komunikace, konkrétně část inicializace mezi obvodem 17XS6500 a mikrokontrolérem. Komunikace je zajištěna čtyřmi signály. Hlavním signálem jsou data, zobrazena žlutou barvou. Okamžik přenosu dat definuje hodinový signál (červený průběh). Zelený průběh CS0 je řídicí signál prvního obvodu (17XS6500\_A) a modrý CS1 je řídicí signál pro druhý obvod (17XS6500\_B).

Hodinový signál generuje dvakrát osm pulzů, které definují počet posílaných bitů dat, tedy 2 bajty v každé zprávě. Jestliže zpráva obsahuje bajt s hodnotou v binární soustavě 0b10101011 odpovídá to 0xAB v hexadecimální soustavě. Na obrázku 5.2 je možné vidět, že analyzátor VBA vyznačený bajt analyzoval správně. CS signál určuje, kterému obvodu jsou data určena a je přepnut do logické „0“ v okamžiku, kdy má obvod přijímat zprávu. Z obrázku je tedy patrné, že první dvojice bajtů je určena obvodu 17XS6500\_A a druhá dvojice druhému. Poté je poslán jeden bajt každému z obvodů.



**Obr. 5.2** Zobrazení průběhů SPI komunikace a jeho analýza**5.3 Testování CAN komunikace**

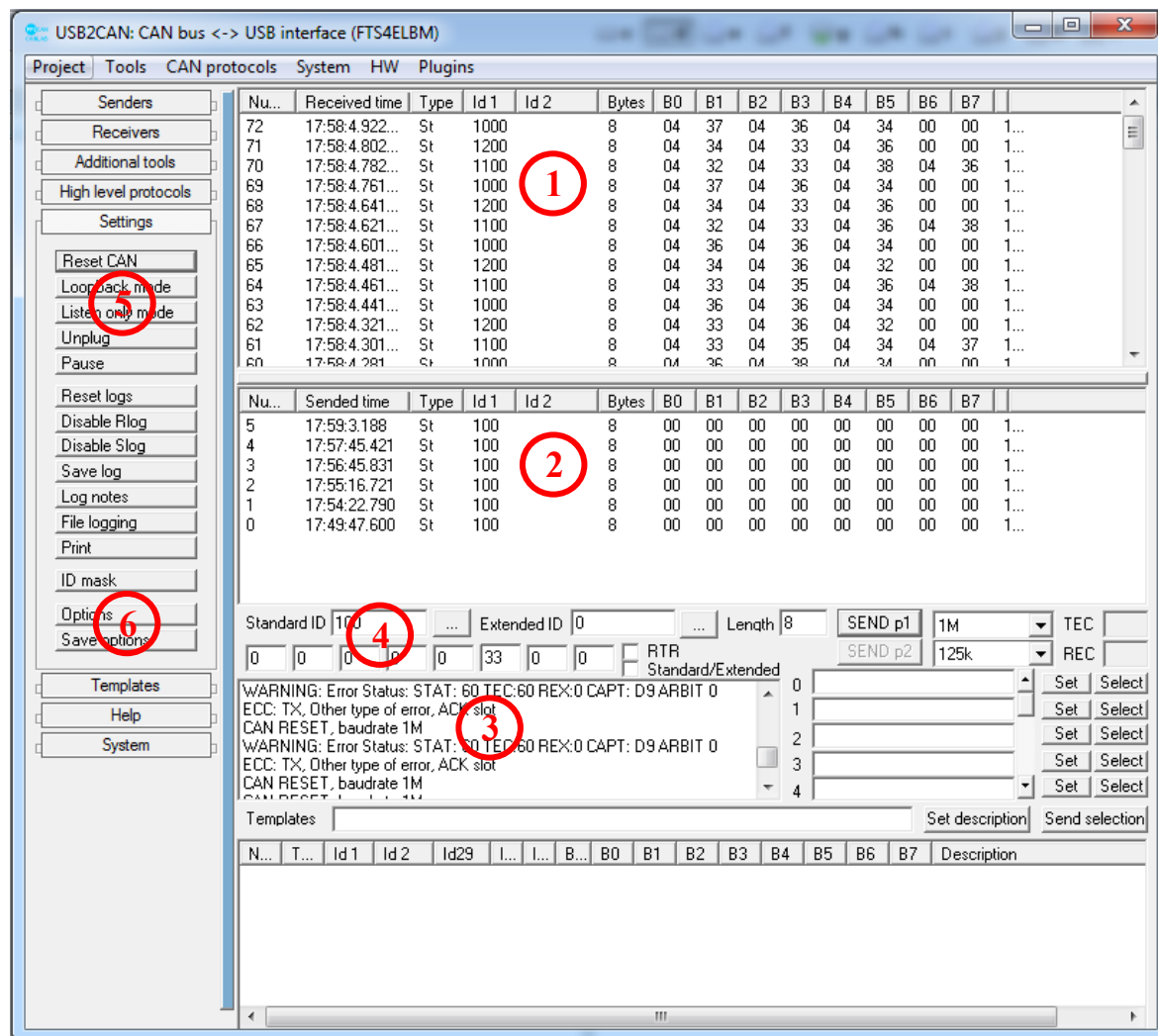
Aby bylo možné ladit, a testovat vyvíjenou aplikaci ze strany komunikace po CAN sběrnici, je potřeba použít zařízení, které je schopné komunikovat přes PC po této sběrnici. Vhodné zařízení je adaptér USB2CAN (obr. 5.3), který slouží pro připojení sběrnice CAN k PC prostřednictvím USB.

**Obr. 5.3** Adaptér USB2CAN [3]

Pro diagnostiku sběrnice CAN je použita softwarová aplikace PP2CAN. Pomocí tohoto programu lze provádět nejen monitoring dat, vyskytujících se na sběrnici, ale také data odesílat. Na obr. 5.4 je možné vidět hlavní okno aplikace, které je rozděleno na několik částí. Pro testování řídicího systému osvětlovací soustavy byly využity následující části:

- 1) **Okno logu přijatých zpráv** obsahuje výpis historie přijatých zpráv, které je možné seřadit dle pořadí, ve kterém byly zprávy přijaty, podle typu identifikátoru, či hodnotě ID. Nejpodstatnější údaj je počet bajtů ve zprávě a jejich hodnoty.
- 2) **Okno logu manuálně odesílaných zpráv**, ukládá zprávy vyslané uživatelem na sběrnici CAN.
- 3) **Okno informačních hlášení programu** oznamuje stav připojení zařízení a zobrazuje chyby, které při testování CAN rozhraní nastanou.
- 4) **Blok nastavení a generování manuálně vytvářených zpráv** umožňuje nastavit libovolný identifikátor, počet odesílaných bajtů a jejich hodnoty. Dále je možné definovat, zda se jedná o datový rámec nebo zprávu typu RTR (tzn. žádost o data). Blok nabízí možnost kontinuálního odesílání dat s periodou v rozsahu od 10 milisekund do jedné vteřiny.

- 5) **Blok pro ovládání programu** slouží ke stopování toku zpráv či resetování CAN komunikace.
- 6) **Blok nastavení zařízení** definuje typ použitého zařízení, parametry a jeho připojení k PC. [3]

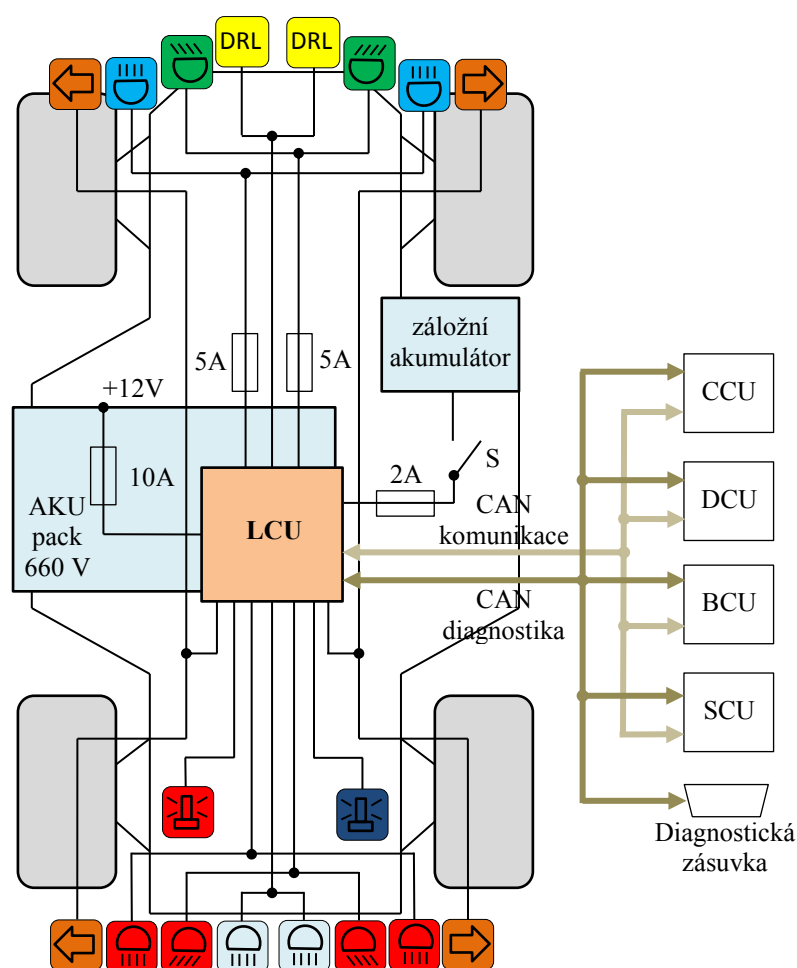


**Obr. 5.4** Obsah hlavní okno aplikace PP2CAN při testování sběrnice CAN

V aplikaci PP2CAN byly odladěny všechny funkce programu řízení osvětlovací soustavy. Pro názornost je zde uvedena situace, kdy uživatel požaduje, aby se rozsvítily potkávací a obrysové světlomety. Jednotka CCU tento požadavek v reálném případě zaznamenaná z vysílačky, zpracuje a pošle zprávu po sběrnici CAN jednotce LCU. Ta díky ID pozná, že se jí zpráva týká a rozsvítí požadované prvky. Je možné vidět, že jednotka LCU posílá na sběrnici zprávy se třemi různými identifikátory 1000, 1100 a 1200. Ty obsahují informace o stavu řídicího systému osvětlovací soustavy. Při rozsvícení světel, jak je možné vidět na obrázku 5.4, jednotka posílá mimo jiné i aktuální měřený proud kanálů potkávacích a obrysových světel. Hodnoty jsou zobrazeny v hexadecimální podobě.

## 6 Aplikace osvětlovací soustavy do struktury vozidla

Implementace osvětlovací soustavy do struktury vozidla Democar je prováděna na základě návrhů uvedených v této práci. Blokové schéma aplikace osvětlovací soustavy je možné vidět na obrázku 6.1. Je zde znázorněno umístění jednotlivých světelných zdrojů a jejich zapojení do jednotky LCU. Na každý výstup z jednotky LCU je zapojena dvojice světel pro pravou a levou stranu. Výjimku tvoří směrová světla, maják KPS a SKC. Přední a zadní směrová světla pravé strany jsou připojena na jeden výstup a levá strana na výstup druhý. Světla SKC a KPS jsou umístěna v zadní části vozidla.



**Obr. 6.1** Blokové schéma implementace osvětlovací soustavy do struktury vozidla Democar

Řídicí jednotka LCU je napájena z *AKU packu*, který je hlavním zdrojem elektrické energie pro vozidlo Democar. *AKU pack* obsahuje akumulátory typu LiFePO<sub>4</sub> (lithium – železo – fosfátové) a provozní napětí jednoho článku je cca 3,3 V. Jelikož se *AKU pack* skládá ze dvou set článků, pracovní napětí má hodnotu 660V. Momentálně je stále v řešení finální stanovení napěťových hladin pro pohon a další systémy. Cílem diplomové práce není řešení této problematiky.

Připojení jednotky LCU k záložnímu akumulátoru je bezpečnostní opatření, které umožňuje, při výpadku hlavního přívodu elektrické energie, aktivovat maják SKC a tak informovat okolí o vzniku závady. Záložní zdroj je olověný akumulátor s provozním napětím 12V využívaný v motorových vozidlech.

Jisticími prvky pro zkratovou ochranu byly zvoleny rychlé nožové tavné pojistky, které jsou připojeny do obvodu hlavního napájení, záložního zdroje, potkávacího a dálkového světlometu. Jmenovité hodnoty proudů jisticích prvků byly zvoleny s ohledem na protékající proudy, délku a průřez vodiče. Pro potkávací a dálková světla byl určující příkon žárovky s technologií LED.

S ostatními řídicími systémy vozidla Democar je jednotka LCU propojena, dle blokového schéma na obrázku 2.1, přes sběrnici *CAN komunikace*. Pro možnost diagnostiky je vyvedena i *CAN diagnostika*, přes kterou bude možné se připojit diagnostickým zařízením k jednotlivým řídicím jednotkám a vyčítat požadovaná data.

Na obrázku 6.2 a 6.3 je možné vidět fotografie vozidla Democar s osazenými světelnými prvky. Ostatní fotografie vozidla Democar jsou uvedeny v příloze D.



**Obr. 6.2** Světelné prvky přední části vozidla Democar





***Obr. 6.3** Světelné prvky zadní části vozidla Democar*

## **7 Závěr**

Cílem diplomové práce byl kompletní návrh osvětlovací soustavy vozidla Democar, včetně návrhu řídicí a výkonové části ovládání světelných prvků. Dalším požadavkem byla nejen realizace dané soustavy, ale i testovacího prototypu řídicí jednotky LCU, ke které měl být vyvinut aplikační software. Všechny tyto úkoly byly splněny.

Aplikační software byl vyvíjen a testován pomocí prototypu jednotky LCU, která umožňuje širokou škálu zapojení a odladění řídicí aplikace i po stránce hardwaru. Vývoj programu zahrnoval mimo jiné i ladění řízení světelných prvků a testování řídicích aplikací pro zpětnou vazbu a self – diagnostiku.

Pro zvýšení kvality řídicího systému ze strany hardwaru, je navržena, vyrobena a odladěna komplexní řídicí jednotka LCU, obsahující řídicí i výkonovou část pro ovládání osvětlovací soustavy. Jednotka je určena primárně pro finální implementaci do systémů vozidla Democar. Tím je zvýšena kvalita a profesionálnost provedení osvětlovací soustavy jako takové.

Řídicí systém osvětlovací soustavy byl ve finále otestován přímo na vozidle Democar, předveden vedoucímu diplomové práce a je možné jej v plné míře využívat.

## 8 Seznam použité literatury

- [1] AXIOM MANUFACTURING: *TWR-PXS20 User Guide* [online]. 2013 [cit. 2014-03-28]. Dostupné z: <https://www.axman.com>
- [2] BRANDŠTETTER, P.: *Elektronika*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007, 137 s. ISBN 978-80-248-1481-0.
- [3] CANLAB: *PP2CAN software*. [online]. [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: <http://rs.canlab.cz>
- [4] FREESCALE: *MC17XS6500 – datasheet* [online]. 2013 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <http://www.freescale.com>
- [5] FREESCALE: *MQX™ I/O Drivers User Guide* [online]. 2013 [cit. 2014-03-27]. Dostupné z: <http://www.freescale.com>
- [6] FREESCALE: *MQX™ Real – Time Operating System – User Guide* [online]. 2011 [cit. 2014-03-27]. Dostupné z: <http://www.freescale.com>
- [7] FREESCALE: *MQX™ RTOS Reference Manual* [online]. 2013 [cit. 2014-03-29]. Dostupné z: <http://www.freescale.com>
- [8] FREESCALE: *PXS20 – datasheet PPC5643L* [online]. 2013 [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: <http://www.freescale.com>
- [9] FREESCALE: *PXS20 Microcontroller Reference Manual* [online]. 2011 [cit. 2014-03-28]. Dostupné z: <http://www.freescale.com>
- [10] FREESCALE: *TWR – PXS2010 – Quick Start Guide* [online]. [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: <http://www.element14.com>
- [11] KOTZIAN, J.: *Navrhování a realizace vestavěných řídicích systémů*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012.
- [12] TAKÁČ, J.: *Návrh modelu struktury vnitřní diagnostiky elektronických systémů elektromobilu*. Ostrava, 2013. 57 s. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Petr Šimoník, Ph.D.
- [13] TEXAS INSTRUMENTS: *SN74CBTD3384C – datasheet* [online]. 2013 [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: <http://www.ti.com>
- [14] ZÁHLAVA, V.: *Návrh a konstrukce desek plošných spojů: principy a pravidla praktického návrhu*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2010, 123 s. ISBN 978-80-7300-266-4.



## **9 Seznam příloh**

**Příloha A** – Dodatečné informace k obvodu MC17XS6500

**Příloha B** – Dokumentace k výkonové části prototypu LCU

**Příloha C** – Dokumentace ke komplexní jednotce LCU

**Příloha D** – Fotografie vozidla Democar